

УДК 621.9.047

С. Ю. Сьянов, канд. техн. наук, доцент, А. М. Папикян, ассистент,
Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия
Тел./Факс: (4832) 588285; E-mail: serg620@yandex.ru Paпikan-alina@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

Обобщены результаты теоретических исследований влияния режимов электроэрозионной обработки на эксплуатационные свойства деталей. Показано, что на усталостную прочность влияют режимы обработки и коэффициент после электроэрозионной обработки; показатель износостойкости определяется как режимами обработки, так и физико-механическими свойствами материала заготовки.

Ключевые слова: усталостная прочность, износостойкость, электроэрозионная обработка, качество поверхностного слоя.

S. Yu. Syanov, A. M. Papikyan

THEORETICAL STUDIES OF RELATIONSHIP BETWEEN THE WEAR RESISTANCE AND FATIGUE STRENGTH IN ELECTRIC DISCHARGE MACHINING

The results of theoretical studies of the influence of modes of electrical discharge machining on the performance properties of parts are summarized. It is shown that the fatigue strength is influenced by the processing modes and the coefficient after the electrical discharge treatment; the wear resistance index is determined by both the processing modes and the physical and mechanical properties of the workpiece material.

Keywords: fatigue strength, wear, electroerosion processing, quality of the surface layer.

1. Введение

Обработка металлов различного уровня твердости с высокой точностью возможна при использовании нетрадиционных способов. Одним из таких методов является электроэрозионная обработка (ЭЭО). ЭЭО заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности электропроводной заготовки под действием электрических разрядов между заготовкой и электрод-инструментом. ЭЭО экономически выгодно применять при обработке сложно-профильных деталей, одним из таких являются формообразующие детали (ФОД) пресс-форм.

При электроэрозионной обработке ФОД в поверхностном слое материала возникают остаточные напряжения, которые являются причиной разрыва формообразующих деталей и поломки пресс-формы [1, 3, 4]. Для решения данной проблемы следует разработать комплекс мероприятий по повышению надежности и долговечности ФОД на основе обеспечения заданных, требуемых или предельных эксплуатационных свойств.

В настоящее время, для обеспечения заданных эксплуатационных свойств деталей при ЭЭО применяют функционально-ориентированные технологии (рис.1) [2, 5, 6, 7].

Основные этапы разработки функционально-ориентированных технологических процессов ЭЭО следующие:

- 1) анализ основных элементов конструкции и выделение типовых поверхностей изделия;
- 2) определение служебных функций типовых поверхностей изделия;
- 3) определение эксплуатационного свойства или группы эксплуатационных свойств, обеспечивающих выполнение поверхностью изделия служебной функции;

4) определение параметров качества поверхностного слоя, обеспечивающих эксплуатационное свойство или группу эксплуатационных свойств;

5) рассмотрение схемы технологического воздействия, вариантов и условий реализации технологических операций ЭЭО для обеспечения необходимых параметров качества поверхностного слоя.

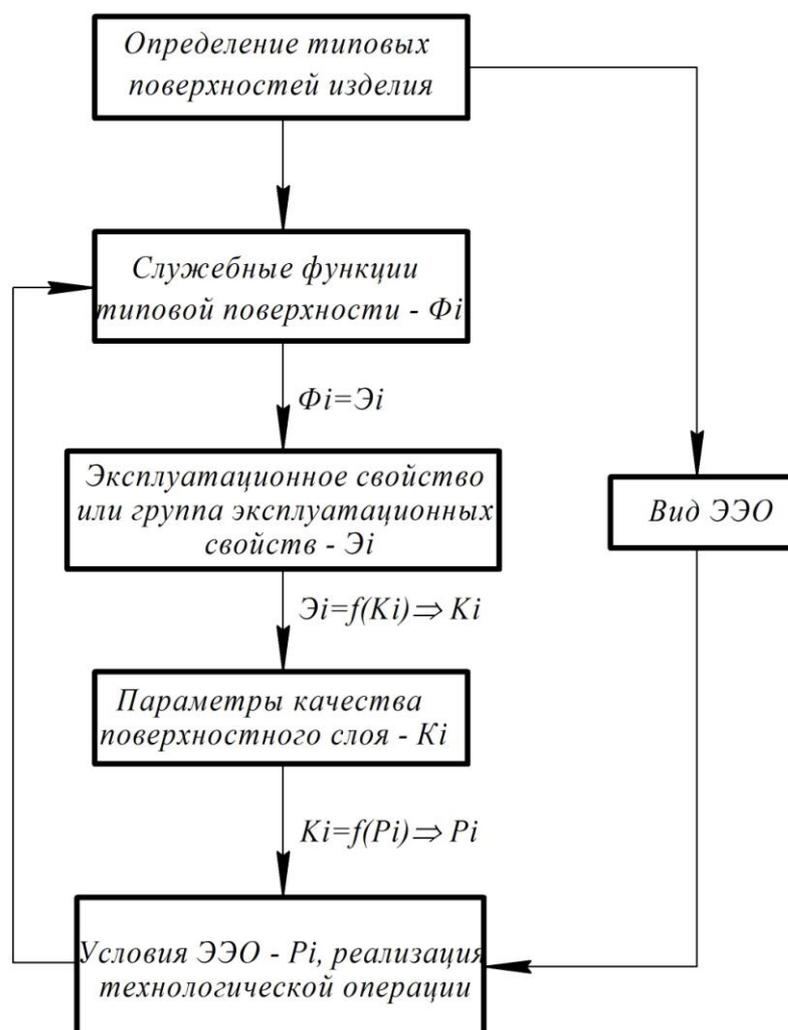


Рисунок 1. Этапы разработки функционально-ориентированного технологического процесса электроэрозионной обработки

Целью исследований является получение теоретических зависимостей взаимосвязи усталостной прочности и износостойкости с условиями электроэрозионной обработки.

2. Получение теоретических зависимостей взаимосвязи усталостной прочности и износостойкости с режимами электроэрозионной обработки

Усталостная прочность – свойство материала не разрушаться с течением времени под действием изменяющихся рабочих нагрузок. Разрушение происходит из-за появления микротрещин, их накопления, затем объединения в одно макроразрушение. При электроэрозионной обработке ФОД в поверхностном слое образуются остаточных напряжения, что приводит к появлению микротрещин. Чтобы решить данную задачу

следует обеспечить такие режимы ЭЭО, которые не ухудшат показатели усталостной прочности.

Сопротивление усталости характеризуется коэффициентом концентрации напряжения, который рассчитывается по формуле [7]:

$$\alpha_{\sigma} = 1 + \frac{200}{tmSm} [2\gamma R_{max}(R_{max} - R_p)]^{0.5}, \tag{1}$$

где R_{max} , R_p , Sm – параметры шероховатости; tm – относительная опорная длина профиля на уровне средней линии; γ – коэффициент после электроэрозионной обработки, который необходимо определить в результате экспериментальных исследований.

В свою очередь, параметры шероховатости при ЭЭО можно рассчитать по теоретическим зависимостям [8; 9; 11]:

$$R_{max} = \sqrt[3]{\frac{(2 \cdot \beta - 1) \cdot I \cdot U \cdot \eta \cdot \tau}{(4 \cdot \beta + 1) \cdot c \cdot \rho \cdot T_{me}}}, \tag{2}$$

$$R_p = 0,671 \cdot R_z, \tag{3}$$

$$R_z = 0,84 \sqrt[3]{\frac{(2 \cdot \beta - 1) \cdot I \cdot U \cdot \eta \cdot \tau}{(4 \cdot \beta + 1) \cdot c \cdot \rho \cdot T_{me}}}, \tag{4}$$

$$Sm = 4,5 \cdot R_z, \tag{5}$$

$$tm = 0,49 \cdot p^{1,02}, \tag{6}$$

где β - коэффициента перекрытия лунок; I – сила тока; U – напряжение, подаваемое на электроды; η - коэффициента полезного использования энергии импульса; τ – длительность импульсов; c – удельная теплоемкость материала; ρ - плотность материала; T_{me} – температура плавления материала; p – уровень сечения (50%).

Подставив уравнения (2-6) в уравнение (1), получим

$$\alpha_{\sigma} = 1 + \frac{1,86 \gamma^{0,5}}{\sqrt[6]{\frac{(2 \cdot \beta - 1) \cdot I \cdot U \cdot \eta \cdot \tau}{(4 \cdot \beta + 1) \cdot c \cdot \rho \cdot T_{me}}}}.$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что усталостная прочность зависит от силы тока, напряжения, подаваемого на электроды и длительности импульсов.

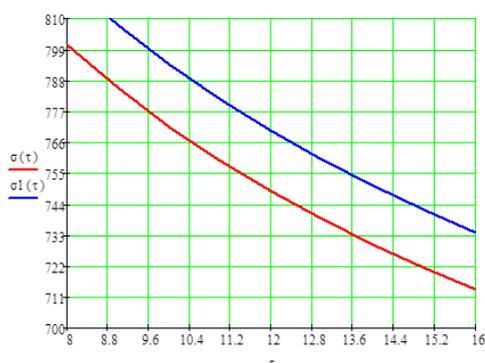


Рисунок 2. График зависимости усталостной прочности от ширины импульса

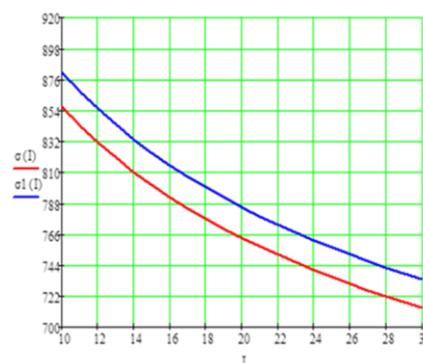


Рисунок 3. График зависимости усталостной прочности от силы тока

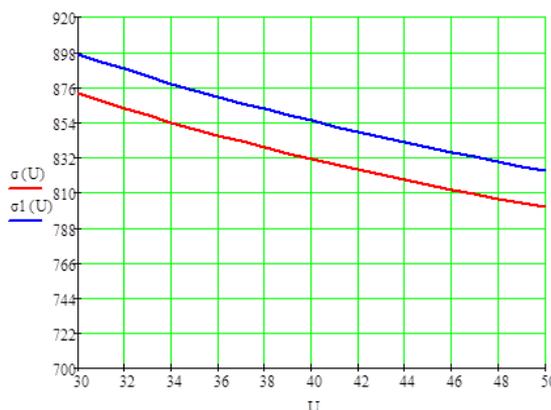


Рисунок 4. График зависимости усталостной прочности от напряжения

Исследования проводились для инструментальных штамповых сталей. На рис. 2, рис. 3, рис.4 приведены графики зависимостей усталостной прочности от режимов ЭЭО.

Износостойкость – эксплуатационное свойство, определяющее способность поверхностных слоев деталей сопротивляться разрушению при трении-скольжения, трении-качения, а также при микроперемещениях, обусловленных воздействием вибраций. Трение и изнашивание деталей в значительной степени определяется формой и высотой шероховатости, а также направлением штрихов обработки.

Для оценки качества поверхностей трения предложен параметр, характеризующий равновесное состояние поверхностей трения [7]:

$$C_x = \frac{(RaWzHmax)^{1/6}}{tm^{3/2} Sm^{1/2} u_{cw}^{2/3} \lambda}, \tag{7}$$

где Hmax – макроотклонения поверхности; Wz – волнистость поверхности; Ra, Sm – параметр шероховатости поверхности; tm – относительная опорная длина профиля на уровне средней линии; u_{cw} – степень наклепа поверхностного слоя; λ – коэффициент, учитывающий влияние поверхностных остаточных напряжений второго рода на износ.

Волнистость поверхности можно рассчитать по теоретической зависимости [8; 9; 11]:

$$Wz = 0,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{I \cdot \tau \cdot \eta}{c \cdot \rho \cdot T}} \cdot (\sqrt[3]{U_{max}} - \sqrt[3]{U_{min}}), \tag{8}$$

где I – сила тока; η - коэффициента полезного использования энергии импульса; τ – длительность импульсов; c – удельная теплоемкость материала; ρ - плотность материала; T – температура плавления материала; U_{max} – максимальное напряжение при обработке; U_{min} – минимальное напряжение при обработке.

Степень наклепа поверхностного слоя определяется формулой [9]:

$$U_n = \frac{H_s - H_h}{H_s}, \tag{9}$$

где H_h – микротвердость наклепанного слоя; H_s – микротвердость исходного материала.

В свою очередь, микротвердость исходного материала при электроэрозионной обработке определяется формулой [8, 9, 11]:

$$h_{\mu} = 10^{-3} \cdot \frac{A_p^{0,234} \cdot \Pi_t^{0,409}}{\Pi_d^{0,236}}, \tag{10}$$

где A_p – энергия импульса; Π_d – коэффициент фазовых превращений Палатника материала детали; Π_t – коэффициент фазовых превращений Палатника материала инструмента.

Коэффициент, учитывающий влияние поверхностных остаточных напряжений второго рода на износ определяется формулой [7]:

$$\lambda = \left(\frac{\delta_{te} - \delta^{nre}}{\delta_{am}} \right)^t, \tag{11}$$

где δ_{te} – временное сопротивление разрушению; δ_{am} – действующее значение амплитудного напряжения на поверхности трения; t – параметр фрикционной усталости при упругом контакте.

Подставив уравнения (2-6), (8-11) в уравнение (7), получим:

$$C = \frac{\left[\sqrt[3]{\frac{I \cdot \tau \cdot \eta}{c \cdot \rho \cdot T}} \cdot (\sqrt[3]{U_{max}} - \sqrt[3]{U_{min}}) \cdot H_{max} \right]^{1/6}}{0,0005 \cdot \left(\frac{(2 \cdot \beta - 1) \cdot I \cdot U \cdot \eta \cdot \tau}{(4 \cdot \beta + 1) \cdot c \cdot \rho \cdot T_{me}} \right)^{1/6} \cdot \left(\frac{\left(10^{-3} \cdot \frac{A_p^{0,234} \cdot \Pi_t^{0,409}}{\Pi_d^{0,236}} \right) - H_h}{\left(10^{-3} \cdot \frac{A_p^{0,234} \cdot \Pi_t^{0,409}}{\Pi_d^{0,236}} \right)} \right)^{2/3} \cdot \left(\frac{\delta_{te} - \delta^{nre}}{\delta_{am}} \right)^t}$$

Исследования проводились для инструментальных штамповых сталей. На рис. 5, рис. 6, рис. 7 приведены графики зависимостей износостойкости от режимов ЭЭО.



Рисунок 5. График зависимости износостойкости от ширины импульса

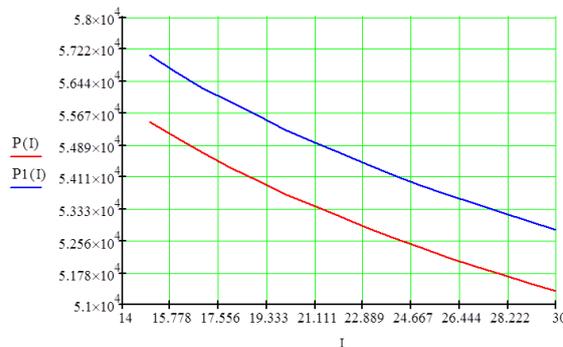


Рисунок 6. График зависимости износостойкости от силы тока

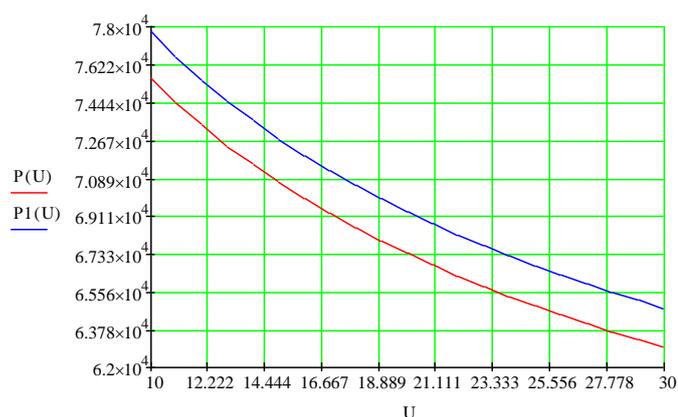


Рисунок 7. График зависимости износостойкости от напряжения

Таким образом, можно сделать вывод о том, что износостойкость зависит от режимов электроэрозионной обработки.

Обобщенные теоретические исследования по обеспечению усталостной прочности и износостойкости приведены в таблице 1. Данные таблицы позволяют установить режимы электроэрозионной обработки, которые обеспечивают получение требуемых параметров усталостной прочности и износостойкости.

Таблица 1. - Взаимосвязь усталостной прочности и износостойкости с условиями ЭЭО

Режим обработки		Режимы электроэрозионной обработки			
Технологические параметры	I, А	2,6	10 – 30	2,6	
	U, В	30	30	30 – 50	
	$\tau_{и}$, мкс	8 – 16	8	8	
Параметры, характеризующие эксплуатационные свойства	Износостойкость	C	$6,93 \cdot 10^4 - 6,28 \cdot 10^4$	$5,72 \cdot 10^4 - 5,15 \cdot 10^4$	$7,8 \cdot 10^4 - 6,1 \cdot 10^4$
	Усталостная прочность	α σ	790-700	880 – 720	898 – 800

Результаты исследований относятся к деталям из инструментальных штамповых сталей.

9. Выводы

В ходе проведенных теоретических исследований были получены функциональные зависимости эксплуатационных свойств (усталостной прочности и износостойкости) от условий электроэрозионной обработки. Усталостная прочность зависит от силы тока, напряжения, подаваемого на электроды и длительности импульсов. Износостойкость также зависит от режимов обработки и от физико-механических свойств материалов заготовки. Большее влияние на параметры эксплуатационных свойств (усталостной прочности и износостойкости) оказывает напряжение, возникающее при обработке.

При обеспечении данных эксплуатационных характеристик снижается риск поломки деталей и увеличивает срок цикл работы сборочной единицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федонин, О. Н. Обеспечение износостойкости и усталостной прочности поверхностей при электроэрозионной обработке / О. Н. Федонин, С. Ю. Съянов, А.М. Папикян // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2017. – № 11 (77). – С. 10–14.
2. Съянов, С. Ю. Функционально-ориентированные технологии при электроэрозионной обработке / С. Ю. Съянов, А. М. Папикян // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2018. – № 2 (80). – С. 35-39.
3. Козлов, В. Г. Современные методы обработки металлов. Электроэрозионная обработка / В. Г. Козлов, В. С. Волков // Молодежный вектор развития аграрной науки. – 2015. – С. 180-184.
4. Сариллов, М. Ю. Выбор параметров управления качеством при электроэрозионной обработке поверхностей деталей / М. Ю. Сариллов, М. А. Покотило // Автоматизация. Современные технологии. – 2009. – № 4. – С. 3-9.
5. Брециких, А. Ф. Электроэрозионная обработка / А. Ф. Брециких В. И. Сысун // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2010. – № 2 (107). – С. 78-82.
6. Михайлов, А. Н. Общие особенности функционально-ориентированных технологий и принципы ориентации их технологических воздействий и свойств изделий / А. Н. Михайлов // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XIV междунар. науч.-техн. конф. (г. Севастополь, 17-22 сент. 2007 г.): в 5 т. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – Т. 3. – С. 38-52.
7. Михайлов, А. Н. Функционально-ориентированные технологии. Особенности синтеза новых и нетрадиционных свойств изделий / А. Н. Михайлов // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XV междунар. науч.-техн. конф. (г. Севастополь, 15-20 сент. 2008 г.): в 4 т. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – Т. 2. – С. 290-314.
8. Syanov, S. Y. Theoretical determination of surface layer quality characteristics of workpieces, tool electrode wear and efficiency of spark eroding / S. Y. Syanov // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems. – 2015.
9. Съянов, С. Ю. Теоретическое определение параметров качества поверхностного слоя деталей, износа электрода-инструмента и производительности процесса при электроэрозионной обработке / С. Ю. Съянов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 1 (49). – С. 67-73.
10. Суслев, А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслев, А. М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
11. Съянов, С. Ю. Технологическое управление параметрами качества поверхностного слоя деталей машин при электроэрозионной обработке / С. Ю. Съянов // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2014. – № 6 (36). – С. 24-29.

Поступила в редколлегию 16.01.2019 г.