

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. №3 (141). С.19-22.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. №3 (141). P. 19-22.

Научная статья
УДК 621.9.011:621.9.048.4
doi: 10.30987/2223-4608-2023-19-22

Одноступенчатое технологическое обеспечение износостойкости деталей машин электроэрозионной обработкой

Анатолий Григорьевич Суслов¹, д.т.н.,
Сергей Юрьевич Сьянов², к.т.н.

^{1,2} ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,
г. Брянск, Россия

¹ naukatm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2566-2759>

² SERG620@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Аннотация. Приведены теоретические зависимости для определения интенсивности изнашивания в зависимости от режимов и условий электроэрозионной обработки деталей машин исходя из энергетического подхода к процессам обработки и трения. Данные зависимости позволяют определить оптимальные режимы и условия электроэрозионной обработки для обеспечения требуемых параметров износостойкости (при одноступенчатом подходе – непосредственном технологическом обеспечении).

Ключевые слова: интенсивность изнашивания, электроэрозионная обработка, условия обработки

Для цитирования: Суслов А.Г., Сьянов С.Ю. Одноступенчатое технологическое обеспечение износостойкости деталей машин электроэрозионной обработкой // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. № 3 (141). С. 19–22. doi: 10.30987/2223-4608-2023-19-22

Single-stage engineering support of wear resistance of machine parts by EDM process

Anatoly G. Suslov¹, D. Eng.,
Sergey Yu. S'yanov², Ph.D. Eng.
^{1,2} Bryansk State Technical University,
Bryansk, Russia

¹ naukatm@yandex.ru, ² SERG620@yandex.ru

Abstract. Theoretical dependences for determining the wear intensity, depending on the modes and conditions of EDM process of machine parts based on the energy approach to the processing and triboprocess, are given. These dependences make it possible to determine the optimal modes and conditions of EDM process for ensuring the required parameters of wear resistance (with a single-stage approach – direct engineering support).

Keywords: wear intensity, electrical discharge machining (EDM), processing conditions

For citation: Suslov A.G., S'yanov S.Yu. Single-stage engineering support of wear resistance of machine parts by EDM process. / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. № 3 (141). P. 19–22. doi: 10.30987/2223-4608-2023-19-22

В результате анализа современных исследований в области износостойкости деталей машин можно сделать вывод, что большинство деталей машин выходит из строя вследствие износа их поверхностей. Сократить затраты на изготовление и ремонт деталей машин, а также обеспечить требуемый срок их службы

возможно за счет одноступенчатого технологического обеспечения износостойкости.

Одноступенчатое технологическое обеспечение износостойкости деталей машин электроэрозионной обработкой можно осуществлять двумя способами:

1) путем подстановки теоретических зависимостей параметров качества поверхностного

слоя от условий электроэрозионной обработки в уравнения для определения интенсивности изнашивания в периоды приработки и нормального изнашивания [1, 2];

2) на основе энергетического подхода к процессу электроэрозионной обработки и трения.

В работе рассмотрен второй способ одноступенчатого технологического обеспечения износостойкости электроэрозионной обработкой.

Из анализа работ [3 – 5] можно сделать вывод, что рабочие поверхности деталей при обработке и трении подвергаются сопоставимым воздействиям (силовым, температурным и химическим). Так же можно утверждать, что режимы и условия электроэрозионной обработки будут влиять на критический уровень энергии, который будет устанавливаться в процессе изнашивания поверхностей и необходимый для разрушения материала.

Согласно [4, 5] в качестве энергетических параметров, определяющих износостойкость обработанной поверхности, были приняты удельная энергия обработки $E_{уд.обр}$ и удельная энергия трения $E_{уд.тр}$.

Удельная энергия трения рассчитывается по зависимости:

$$E_{уд.тр} = \frac{F_{тр}\Delta L_{тр}}{\Delta V_{тр}} = \frac{Nf\Delta L_{тр}}{\Delta V_{тр}}, \quad (1)$$

где $F_{тр}$ – сила трения; $\Delta L_{тр}$ – путь трения; $\Delta V_{тр}$ – объем изношенного материала; N – нормальная нагрузка; f – коэффициент трения. Причем эта удельная энергия трения рассчитывается для установившегося периода изнашивания, когда сформировано равновесное состояние поверхностного слоя. Для повышения износостойкости поверхностей трения после их финишной, в том числе электроэрозионной обработки, должно быть обеспечено их равновесное состояние.

Интенсивность изнашивания рассчитывается по зависимости:

$$I_h = \frac{h_{и}}{\Delta L_{тр}}, \quad (2)$$

где $h_{и}$ – линейный износ.

Путь трения рассчитывают по зависимости: $\Delta L_{тр} = v_{ск}T_{и}k_{вп}$, где $v_{ск}$ – скорость скольжения; $T_{и}$ – время испытания на изнашивание; $k_{вп}$ – коэффициент взаимного перекрытия [6]:

$$k_{вп} = \frac{b_k}{l}, \quad (3)$$

где b_k – ширина площадки контакта индентора и образца; l – длина трущейся поверхности (для цилиндрических поверхностей $l = \pi d$, где d – диаметр трущейся поверхности).

Объем изношенного материала рассчитывают по формулам:

– для цилиндрических поверхностей:

$$\Delta V_{тр} = \pi dbh_{и}, \quad (4)$$

– для плоских поверхностей:

$$\Delta V_{тр} = lbh_{и}, \quad (5)$$

где b – ширина трущейся поверхности.

Для получения удельной энергии трения необходимо из (2) выразить путь трения и полученный результат вместе с уравнениями (4) и (5) подставить в (1). В результате получим:

– для цилиндрических поверхностей:

$$E_{уд.тр} = \frac{Nf}{\pi dbI_h}, \quad (6)$$

– для плоских поверхностей:

$$E_{уд.тр} = \frac{Nf}{lbI_h}. \quad (7)$$

Удельную энергию, затрачиваемую на электроэрозионную обработку, рассчитывают по следующей зависимости:

$$E_{уд.обр} = \frac{UIS\eta}{qf_{и}\Delta V_0}, \quad (8)$$

где U – напряжение, подаваемое на электроды; I – сила тока; $f_{и}$ – частота следования импульсов; q – скважность импульсов; ΔV_0 – удаляемый объем материала в процессе электроэрозионной обработки; S – площадь обработки; η – коэффициент полезного действия энергии импульса.

Коэффициент полезного действия энергии импульса рассчитывается по методике, приведенной в работе [7]. Коэффициент полезного действия энергии импульса учитывает следующие потери теплоты:

– на нагрев и испарение жидкости, образование ударной волны и газового пузыря – коэффициент $K1$: при электроискровом режиме $K1 = 0,5$; при электроимпульсном режиме $K1 = 0,47$;

– на нагрев второго электрода – коэффициент $K2$: при вертикальном движении подачи для верхнего электрода $K2 = 1 - \frac{2m}{m+1}$, для нижнего электрода $K2 = 1 - \frac{2}{m+1}$,

где $m = \sqrt{\frac{\lambda_{в}c_{в}\rho_{в}}{\lambda_{н}c_{н}\rho_{н}}}$. Здесь $\lambda_{в}$, $\lambda_{н}$ – коэффициенты теплопроводности верхнего и нижнего электродов соответственно; $c_{в}$, $c_{н}$ – удельные теплоемкости верхнего и нижнего электродов соответственно; $\rho_{в}$, $\rho_{н}$ – плотность материалов верхнего и нижнего электродов;

– коэффициент, зависящий от свойств среды – КЗ. Для различных диэлектрических сред принимает значения от 0,2 до 0 (для керосина КЗ = 0,2; для воды КЗ = 0).

Т. о., имеем зависимость для расчета коэффициента полезного использования энергии импульса $\eta_{и}$ [7]:

$$\eta_{и} = (1 - K1)(1 - K2)(1 - K3). \quad (9)$$

Подставляя в (9) значения коэффициентов K1, K2 и K3 для электроэрозионной обработки получим зависимость, определяющую коэффициент полезного действия энергии импульса:

$$\eta_{и} = \frac{0,92}{\sqrt{\frac{\lambda_{и}c_{и}\rho_{и}}{\lambda_{д}c_{д}\rho_{д}} + 1}}, \quad (10)$$

где $\lambda_{и}$, $\lambda_{д}$ – теплопроводности инструмента и детали соответственно; $c_{и}$, $c_{д}$ – удельная теплоемкость материала инструмента и детали соответственно; $\rho_{и}$, $\rho_{д}$ – плотность материала инструмента и детали соответственно.

Удаляемый объем материала в процессе электроэрозионной обработки рассчитывается по зависимости:

$$\Delta V_0 = Sh, \quad (11)$$

где h – толщина удаляемого материала.

Подставив (11) в (8) получим выражение для определения удельной энергии электроэрозионной обработки:

$$E_{уд.обр} = \frac{UI\eta}{qf_{и}h}. \quad (12)$$

Взаимосвязь между удельными энергиями при трении $E_{уд.тр}$ и при электроэрозионной обработке $E_{уд.обр}$ описывается при помощи однократной статической модели:

$$E_{уд.тр} = b_0 E_{уд.обр}^{b_1}, \quad (13)$$

где b_0 и b_1 – коэффициенты.

При подстановке в выражение (13) уравнений (6), (7) и (12) получим выражение для определения интенсивности изнашивания после электроэрозионной обработки:

– для цилиндрических поверхностей:

$$I_h = b_0 \left(\frac{Nfqf_{и}h \left(\sqrt{\frac{\lambda_{и}c_{и}\rho_{и}}{\lambda_{д}c_{д}\rho_{д}} + 1} \right)^{b_1}}{0,92\pi dbUI} \right), \quad (14)$$

– для плоских поверхностей:

$$I_h = b_0 \left(\frac{Nfqf_{и}h \left(\sqrt{\frac{\lambda_{и}c_{и}\rho_{и}}{\lambda_{д}c_{д}\rho_{д}} + 1} \right)^{b_1}}{0,92lbUI} \right). \quad (15)$$

Полученные выражения (14) и (15) дают возможность определять интенсивность изнашивания после электроэрозионной обработки, а так же с их помощью можно решать и обратную задачу – по требуемой интенсивности изнашивания определить необходимые режимы (напряжение, ток, частоту следования и скважность импульсов) и условия электроэрозионной обработки (материал инструмента и вид диэлектрической жидкости). В настоящий момент разрабатывается методология проведения экспериментальных исследований, в результате которых будут определены коэффициенты b_0 и b_1 в уравнениях (14) и (15).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Съянов С.Ю. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя и эксплуатационных свойств деталей машин электроэрозионной обработкой // Научно-технические технологии в машиностроении. 2021. № 11 (125). С. 30–37.
2. Сулов А.Г. Фундаментальные основы технологического обеспечения и повышения надежности изделий машиностроения / под ред А.Г. Сулова. М.: Инновационное машиностроение. 2022. 552 с.
3. Сулов А.Г., Дальский А.Г. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 684 с.
4. Сулов А.Г., Медведев Д.М. Одноступенчатое технологическое обеспечение износостойкости цилиндрических поверхностей деталей машин // СТН. 2010. № 8. С. 22–26.
5. Сулов А.Г., Медведев Д.М., Петрушин Д.И., Федонин О.Н. Система автоматизированного технологического управления износостойкостью деталей машин при обработке резанием // Научно-технические технологии в машиностроении. 2018. № 5 (83). С. 40–44.

6. Карасик И.И. Методы типологических испытаний в национальных стандартах стран мира. М.: Наука и техника, 1993. 327 с.

7. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожалова В.И. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. В 2-х т. Т. 1. М.: Высшая школа, 1983. 247 с.

REFERENCES

1. S'yanov S.Yu. Technological quality assurance of the surface layer and operational properties of machine parts by electroerosion treatment /Science-intensive technologies in mechanical engineering, 2021, no. 11 (125). pp. 30–37.

2. Suslov A.G. Fundamental principles of technological support of reliability of mechanical engineering products ed. by A.G. Suslov. Moscow: Innovative mechanical engineering, 2022, 552 p.

3. Suslov A.G., Dalsky A.G. Scientific foundations of mechanical engineering technology. Moscow: Mashinostroenie, 2002, 684 p.

4. Suslov A.G., Medvedev D.M. Single-stage technological support of cylindrical surface wear-resistance of machine parts. STIN, 2010, no. 8, pp. 22–26.

5. Suslov A.G., Medvedev D.M., Petrishin D.I., Fedonin O.N. System of automated technological control of wear resistance of machine parts at cutting. Science-intensive technologies in mechanical engineering, 2018, no. 5 (83), pp. 40–44.

6. Karasik I.I. Metody tribologicheskikh ispytaniy v natsional'nykh standartakh stran mira [Tribological test methods in national standards], Moscow: Publ. of Nauka i tekhnika, 1993, 328 p. (in Russian).

7. Artamonov B.A., Volkov Yu.S., Drozhalova V.I. Electrofizicheskie i electrohimicheskie metodi obrabotki materialov [Electrophysical and electrochemical materials processing techniques]. In 2 vols, vol. 1. Mo: Higher School, 1983, 247 p. (in Russian).

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.12.2022; одобрена после рецензирования 08.12.2022; принята к публикации 26.12.2022.

The article was submitted 05.12.2022; approved after reviewing 19.12.2022; assepted for publication 26.12.2022.

