

УДК 621.9.047

DOI: 10.12737/article_59f074a5d6cce2.23985520

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

Обеспечение износостойкости и усталостной прочности поверхностей при электроэрозионной обработке

Приведены теоретические зависимости усталостной прочности и износостойкости поверхностей от условий электроэрозионной обработки, дающие возможность обеспечить эксплуатационные показатели сложнопрофильных деталей.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка; эксплуатационные показатели; качество поверхностного слоя.

O.N. Fedonin, D. Eng.,
S.Yu. Siyanov, Can. Eng.,
A.M. Papikyan, Post graduate student
(FSBEI HE "Bryansk State Technical University", 7, 50 Years of October Boulevard, Bryansk, 241035)

Surface wear-resistance and fatigue strength support at electro-erosion processing

This paper represents the results generalization of theoretical investigations in the matter of an electro-erosion processing impact upon operating properties of die mold shaping parts. A basic problem is wear-resistance and fatigue strength support at the electro-erosion processing of the products of these types. The analysis carried out has shown that the processing modes and a coefficient after an electro-erosion processing influence fatigue strength. A wear-resistance index is defined both by processing modes, and physical-mechanical properties of blank material. To ensure product operating characteristics a physical situation of complex parts processing should be defined through the choice of optimum modes for electro-erosion processing.

Keywords: electro-erosion processing; operating characteristics; surface layer quality.

Среди всех известных в производстве методов переработки пластмасс одним из самых сложных в плане используемого инструмента является литье под давлением. При производстве деталей (или группы деталей) этим методом для каждой из них необходимо спроектировать и изготовить пресс-форму.

Основное назначение пресс-форм – использование их во время литья под давлением металлов, а так же полимеров, литья по выплав-

ляемым моделям либо прессования материалов из полимера. В одной пресс-форме возможно одновременное изготовление сразу нескольких деталей.

К формообразующим деталям, таким как гребенки, предъявляются высокие требования по точности и шероховатости поверхности, а также требования по обеспечению заданных эксплуатационных свойств. Формообразующие детали обеспечивают требуемую форму

получаемых изделий. Данный тип деталей пресс-форм больше всего подвержен износу, так как период работы одной пресс-формы около 600...700 тыс. циклов.

Гребенки имеют сложно профильный контур, который традиционными методами получить довольно затруднительно. Ввиду этого наиболее эффективным методом получения данных поверхностей является электроэрозионная обработка.

При электроэрозионной обработке сложно-профильных деталей в поверхностном слое материала возникают остаточные напряжения, которые являются причиной разрыва формообразующих деталей и поломки пресс-формы.

Одним из решений данной проблемы является обеспечение требуемой износостойкости и усталостной прочности путем определения оптимальных режимов электроэрозионной обработки.

Задача, решаемая при обеспечении износостойкости и усталостной прочности, – установление режимов резания при электроэрозионной обработке, которые не ухудшат эксплуатационные показатели изделия.

Формообразующие элементы – рабочие органы пресс-формы, которые проектируют отдельно, но ориентируясь на технические параметры и возможности машины в целом. Гребенки (рис. 1) имеют сложнопрофильный контур, который трудно получить традиционными методами обработки. В таких случаях используют электроэрозионный способ обработки. С помощью данного метода можно обработать цельные детали с выступами и вырезами сложной конфигурации.

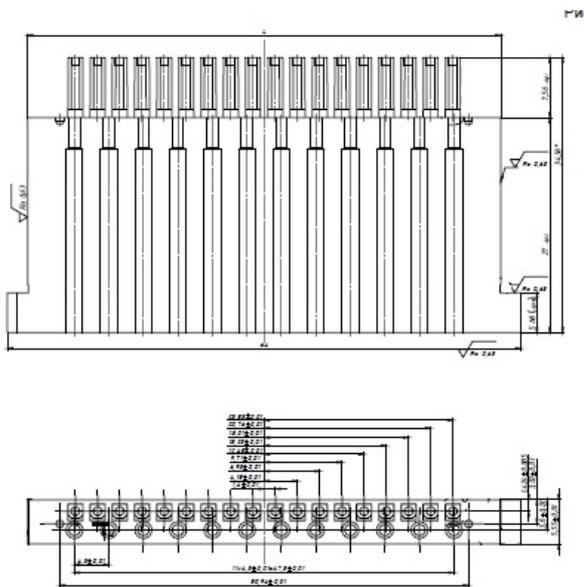


Рис. 1. Общий вид детали «гребенка»

К формообразующим деталям пресс-форм предъявляются следующие технические требования [1]:

1. На поверхности деталей не должно быть следов коррозии, трещин и других механических повреждений, ухудшающих прочность, эксплуатационные качества и внешний вид.

2. Параметр шероховатости Ra формообразующих полостей деталей пресс-формы должен соответствовать значению 0,20 мкм; формообразующих полостей для изделий светотехники и для изделий с поверхностями для гальванической или вакуумной металлизации – 0,025 мкм. В технически обоснованных случаях допускается выполнять формообразующие поверхности с шероховатостью $Ra \leq 0,40$ мкм.

3. Размеры и шероховатость формообразующих поверхностей с покрытием должны быть указаны в чертежах на эти детали после покрытия.

4. Формообразующие поверхности деталей пресс-форм, в зависимости от перерабатываемого полимерного материала, должны быть подвергнуты одному из видов гальванической, химической или химико-термической обработки: хромированию, никелированию, азотированию, оксидированию и др. Толщина слоя хромирования должна быть не менее 12 мкм. В труднодоступных местах допускается толщина слоя хрома не менее 6 мкм.

5. Формообразующие поверхности должны полироваться до и после гальванической, химической или химико-термической обработки.

6. Полировку в разводящих каналах и литниках целесообразно проводить вдоль потока массы и по направлению съема детали.

Гребенки выполняют ответственную функцию в работе любой пресс-формы либо штампа. По отпечатку гребенки получают готовую деталь с заданной точностью и шероховатостью. При проектировании гребенки показатели точности и шероховатости принимают на 1 – 2 класса выше получаемой детали.

При эксплуатации пресс-формы больше всего подвержена изнашиванию и риску поломки именно гребенка. Чтобы обеспечить установленный срок работы и эксплуатационные показатели данной детали нужно еще на стадии проектирования технологического процесса электроэрозионной обработки установить взаимосвязь режимов обработки с требуемыми эксплуатационными показателями (износостойкостью и усталостной прочно-

стью).

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 сложнопрофильных деталей в поверхностном слое образуются остаточные напряжения, что приводит к появлению микротрещин. Чтобы решить данную задачу следует обеспечить такие режимы электроэрозионной обработки, которые не ухудшат показатели усталостной прочности.

Сопротивление усталости характеризуется коэффициентом концентрации напряжения, который рассчитывается по формуле [2]:

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{200}{t_m s_m} [2\gamma R \max(R \max - Rp)]^{0.5}, \quad (1)$$

где $R \max$, Rp , 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

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{200}{26,49 \cdot 3,78 \cdot \sqrt[3]{\frac{(2\beta - 1)IU\eta\tau}{(4\beta + 1)c\rho T_{пл}}}} \left[2\gamma \sqrt[3]{\frac{(2\beta - 1)IU\eta\tau}{(4\beta + 1)c\rho T_{пл}}} \cdot \left(0,436 \cdot \sqrt[3]{\frac{(2\beta - 1)IU\eta\tau}{(4\beta + 1)c\rho T_{пл}}} \right) \right]^{0.5} =$$

$$= 1 + \frac{1,86\gamma^{0.5}}{\sqrt[6]{\frac{(2\beta - 1)IU\eta\tau}{(4\beta + 1)c\rho T_{пл}}}}. \quad (7)$$

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

Рассмотрим второй эксплуатационный показатель – износостойкость.

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

Для оценки качества поверхностей трения

при электроэрозионной обработке можно рассчитать по теоретическим зависимостям [3]:

$$R \max = \sqrt[3]{\frac{(2\beta - 1)IU\eta\tau}{(4\beta + 1)c\rho T_{пл}}}; \quad (2)$$

$$Rp = 0,671Rz; \quad (3)$$

$$Rz = 0,843 \sqrt[3]{\frac{(2\beta - 1)IU\eta\tau}{(4\beta + 1)c\rho T_{пл}}}; \quad (4)$$

$$Sm = 4,5 Rz; \quad (5)$$

$$tm = 0,49p^{1,02}, \quad (6)$$

где β – коэффициент 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; $T_{пл}$ – температура плавления материала; p – уровень сечения (50 %).

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

предложен параметр, характеризующий равновесное состояние поверхностей трения [4]:

$$C_x = \frac{(RaW_z H_{\max})^{1/6}}{tm^{3/2} Sm^{1/2} u_H^{2/3} \lambda}, \quad (8)$$

где H_{\max} – макроотклонения поверхности; W_z – волнистость поверхности; Ra , Sm – параметры шероховатости поверхности; tm – относительная опорная длина профиля на уровне средней линии; u_H – степень наклепа поверхностного слоя; λ – коэффициент, учитывающий влияние поверхностных остаточных напряжений второго рода на износ.

Волнистость поверхности можно рассчи-

татель по теоретической зависимости [3]:

$$Wz = 0,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{I\tau\eta}{c\rho T}} \cdot \left(\sqrt[3]{U_{\max}} - \sqrt[3]{U_{\min}} \right), \quad (9)$$

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 [5]

$$U_H = \frac{H_n - H_u}{H_n}, \quad (10)$$

где H_n – микротвердость наклепанного слоя; H_u – микротвердость исходного материала.

В свою очередь, микротвердость исходного материала при электроэрозионной обработке определяется формулой [3]

$$h_u = 10^{-3} \cdot \frac{A_n^{0,234} \cdot \Pi_n^{0,409}}{\Pi_d^{0,236}}, \quad (11)$$

где A_n – энергия импульса; Π_d – коэффициент фазовых превращений Палатника материала детали; Π_n – коэффициент фазовых превращений Палатника материала инструмента.

Коэффициент, учитывающий влияние поверхностных остаточных напряжений второго рода на износ определяется выражением [4]:

$$\lambda = \left(\frac{\delta_B - \delta^{nocm}}{\delta_a} \right)^t, \quad (12)$$

где δ_B – временное сопротивление разрушению; δ_a – действующее значение амплитудного напряжения на поверхности трения; t – параметр фрикционной усталости при упругом контакте.

Подставив уравнения (2) – (6), (9) – (12) в уравнение (8), получим:

$$C = \frac{\left[0,334 \cdot \sqrt[3]{\frac{(2\beta-1)IU\eta\tau}{(4\beta+1)c\rho T_{пл}}} \cdot 0,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{I\tau\eta}{c\rho T}} \cdot \left(\sqrt[3]{U_{\max}} - \sqrt[3]{U_{\min}} \right) \cdot H_{\max} \right]^{1/6}}{26,49^{3/2} \left(0,843 \sqrt[3]{\frac{(2\beta-1)IU\eta\tau}{(4\beta+1)c\rho T_{пл}}} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{H_n - H_u}{H_n} \right)^{2/3} \cdot \left(\frac{\delta_B - \delta^{nocm}}{\delta_a} \right)^t} =$$

$$= \frac{\left[\sqrt[3]{\frac{I\tau\eta}{c\rho T}} \cdot \left(\sqrt[3]{U_{\max}} - \sqrt[3]{U_{\min}} \right) H_{\max} \right]^{1/6}}{0,0005 \cdot \left(\frac{(2\beta-1)IU\eta\tau}{(4\beta+1)c\rho T_{пл}} \right)^{1/6} \cdot \left(\frac{H_n - \left(10^{-3} \cdot \frac{A_n^{0,234} \cdot \Pi_n^{0,409}}{\Pi_d^{0,236}} \right)}{H_n} \right)^{2/3} \cdot \left(\frac{\delta_B - \delta^{nocm}}{\delta_a} \right)^t} \cdot (13)$$

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

Заключение

В ходе проведенных теоретических исследований были получены функциональные зависимости эксплуатационных показателей (усталостной прочности и износостойкости) от режимов 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.

Используя полученные теоретические уравнения, можно определить режимы электроэрозионной обработки, обеспечивающие требуемые значения усталостной прочности и износостойкости пресс-форм. Так как при различных вариациях значений сил тока, напряжения и длительности импульса можно получить одно и то же значение эксплуатационных показателей, следует провести экспериментальные исследования для определения оптимальных режимов электроэрозионной обработки пресс-форм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27358-87. Пресс-формы для изготовления изделий из пластмасс. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 1988-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 15 с.
2. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин [Текст] / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2000. – 317 с.
3. 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.
4. Суслов, А.Г. Основы технологии машиностроения: учебник / А.Г. Суслов. – М.: КНОРУС, 2016. – 288 с.
5. Хрущов, М.М. Трение, износ и микротвердость материалов: Избранные работы (к 120-летию со дня рожде-

ния) / Отв. ред. И.Г. Горячева. – М.: КРАСАНД, 2012. – 512 с.

REFERENCES

1. RSS 27358-87. *Die Molds for Manufacturing Plastic Parts. General Technical Conditions* [Text]. – Introduced 1988-07-01. – М.: Standards Publishing House, 2004. – pp. 15.
2. Suslov, A.G. *Surface Layer Quality in Machinery* [Text] / A.G. Suslov. – М.: Mechanical Engineering, 2000. – pp. 317.
3. Siyanov, S.Yu. Theoretical definition of quality parameters of parts surface layer, tool electrode wear and efficiency of electro-erosion processing / *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2016. – No. 1(49). – pp. 76-73.
4. Suslov, A.G. *Engineering Techniques Fundamentals: A.G. Suslov*. – М.: KNORUS, 2016. – pp. 288.
5. Khrushchov, M.M. *Friction, Wear and Micro-Hardness of Materials: Selected Works* (to the 120-th birthday anniversary) / Executive editor I.G. Goryacheva. – М.: KRASAND, 2012. – pp. 512.

Рецензент д.т.н. А.Г. Суслов

Реклама Вашей продукции в нашем журнале – один из способов достижения Вашего успеха!

Журнал «Научно-технические технологии в машиностроении» читают руководители и специалисты предприятий машиностроительного комплекса.

Публикация рекламного объявления в нашем журнале даст Вам возможность:

- найти партнеров, заинтересованных в современных исследованиях, а также внедрении Ваших идей и разработок в области машиностроения;
- установить контакты с организациями и фирмами России и стран ближнего и дальнего зарубежья;
- наладить обмен информацией.

Обращайтесь в редакцию! E-mail: naukatm@yandex.ru