

УДК 621.7.014.5

О.Н. Федонин, С.Ю. Съянов, Н.И. Фомченкова

## УПРАВЛЕНИЕ ИЗНОСОМ ИНСТРУМЕНТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ПРОЦЕССА ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

Установлены факторы, оказывающие основное влияние на износ электрода-инструмента и производительность процесса при электроэрозионной обработке. На основании этого получены теоретические и эмпирические зависимости взаимосвязи объемного износа инструмента и производительности процесса с технологическими параметрами обработки, что дает возможность управления износом и производительностью при помощи технологических параметров обработки.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, производительность процесса, электрод-инструмент, износ инструмента, технологические параметры обработки.

Электрическая эрозия - это разрушение поверхности изделия под действием электрического разряда. Явления, происходящие в межэлектродном промежутке, весьма сложны и являются предметом специальных исследований. Эффект эрозии разных металлов и сплавов, производимый одинаковыми по своим параметрам электрическими импульсами, различен. Зависимость интенсивности эрозии от свойств металлов называют электроэрозионной обрабатываемостью. Различное влияние импульсных разрядов на металлы и сплавы зависит от их теплофизических констант: температур плавления и кипения, теплопроводности, теплоемкости. Если принять электроэрозионную обрабатываемость стали за единицу, то электроэрозионная обрабатываемость других металлов (при тех же условиях) может быть представлена в следующих относительных единицах: вольфрам - 0,3; твердый сплав - 0,5; титан - 0,6; никель - 0,8; медь - 1,1; латунь - 1,6; алюминий - 4; магний - 6 (указанные данные справедливы только при конкретных условиях обработки: энергия импульса - 0,125 Дж, длительность импульса -  $1,4 \cdot 10^{-5}$  с, частота импульса -  $1200 \text{ с}^{-1}$ , амплитудное значение тока - 250 А) [4; 5].

Производительность обработки можно повысить, если применять принудительное удаление продуктов эрозии из межэлектродного промежутка. Для этого в межэлектродный промежуток под давлением нагнетают жидкость. Хорошие результаты дает наложение вибраций на электрод-инструмент (ЭИ), а также вращение одного или обоих электродов. Подбирая материал для ЭИ с более высокими теплофизическими свойствами (что соответствует и более высокой эрозионной стойкости), можно значительно уменьшить его износ в процессе работы. Наилучшие показатели в отношении эрозионной стойкости ЭИ и обеспечения стабильности протекания электроэрозионного процесса имеют медь, латунь, вольфрам, алюминий и углеграфитные материалы [4; 5].

Скважность импульсов также оказывает влияние на износ ЭИ. При работе с обратной полярностью электродов снижение скважности уменьшает износ ЭИ, а при прямой полярности электродов снижение скважности приводит к повышению износа ЭИ. Увеличение скважности улучшает качество поверхности, но способствует износу ЭИ. Известны несколько способов уменьшения влияния износа ЭИ на точность электроэрозионной обработки (ЭЭО) [1]:

1. Обработка с вращающимся ЭИ или заготовкой (устраняются местные износы).
2. Прошивание сквозных отверстий ЭИ, имеющим еще не изношенную часть, которая используется для калибрования отверстий на отделочных режимах.

3. Обработка ступенчатым ЭИ, каждая ступень которого, если позволяет оборудование, работает в своем режиме (многоконтурная обработка черной, получистой и чистой ступенями).

4. Применение новых ЭИ на получистовых и чистовых режимах ЭЭО.

При ведении ЭЭО можно подобрать такое соотношение теплофизических свойств материала электродов и параметров импульса, при котором электрическая эрозия одного из электродов будет преобладать. Эрозия ЭИ нежелательна, так как под ее воздействием в процессе работы изменяются его геометрические размеры, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на точность ЭЭО. Поэтому стремятся создать условия, при которых эрозия ЭИ была бы значительно меньше, чем эрозия заготовки. Использование униполярных импульсов позволяет осуществлять процесс избирательной электрической эрозии одного из электродов. Если при этом оба электрода изготовлены из одного и того же материала, то при малой продолжительности импульсов преобладает эрозия электрода, имеющего положительную полярность (анода), а при импульсах большой длительности преобладает эрозия электрода, имеющего отрицательную полярность (катода) [2].

Также для уменьшения износа ЭИ при прочих равных условиях необходимо увеличивать коэффициент теплопроводности. Так, при электроэрозионной обработке стальной заготовки медным ЭИ с целью повышения износа заготовки и уменьшения износа инструмента целесообразно охлаждать ЭИ и нагревать заготовку. Чтобы реализовать рассматриваемое положение, необходимо иметь средства для охлаждения и нагрева электродов, а также рабочие жидкости, в которых возможно вести процесс электроэрозионной обработки при повышенных температурах [3].

Чтобы снизить влияние износа ЭИ на точность обработки, необходимо:

- 1) изготавливать инструмент из материала, стойкого к эрозии, например из вольфрама, медно-графитовых и коксо-графитовых композиций;
- 2) использовать так называемые безыносные схемы, при которых часть материала заготовки или из рабочей среды осаждают на ЭИ, компенсируя тем самым его износ;
- 3) заменять изношенные участки ЭИ путем продольного перемещения (как при прошивании сквозных отверстий и обработке непрофилированным электродом) или заменять весь инструмент;
- 4) проводить правку и калибровку рабочей части ЭИ [3].

Объемный износ ЭИ можно вычислить по теоретической зависимости [6]

$$\gamma = \frac{60\eta_1 UI \cdot 10^6}{c_{и} \rho_{и} T_{пл_{и}}},$$

где  $\gamma$  – объемный износ электрода инструмента,  $\text{мм}^3/\text{мин}$ ;  $U$  – напряжение, В;  $I$  – ток, А;  $\eta_1$  – коэффициент, показывающий, какое количество энергии идет на разрушение электрода-инструмента;  $c_{и}$  – удельная теплоемкость материала инструмента, Дж/(кг·К);  $\rho_{и}$  – плотность материала инструмента,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $T_{пл_{и}}$  – температура плавления материала инструмента, К.

Для проверки данной теоретической зависимости была проведена серия опытов. Сравнивая теоретические и экспериментальные данные, нетрудно заметить, что они отличаются в несколько раз (табл. 1).

Отличие теоретических данных от экспериментальных объясняется в первую очередь тем, что при выводе теоретической зависимости были сделаны определенные допущения и упрощения, а также не было учтено следующее: неоднородность свойств материалов образца и инструмента; зависимость свойств материала от температуры; режим течения рабочей жидкости и многие другие случайные факторы. Поэтому для данного диапазона условий обработки введем поправочный коэффициент  $k=0,34$ .

Таким образом, формула для расчета объемного износа электрода-инструмента при усредненных во времени значениях тока и напряжения примет вид

$$\gamma = 0,34 \frac{60\eta_1 UI \cdot 10^6}{c_{\text{и}} \rho_{\text{и}} T_{\text{пл}}},$$

Таблица 1  
Сравнение теоретических и экспериментальных данных по объемному износу электрода-инструмента

Условия обработки	$\gamma_{\text{теор}}, \text{мм}^3/\text{мин}$	$\gamma_{\text{экспер}}, \text{мм}^3/\text{мин}$
U=60 В, I=12 А	6,27	2,11
U=60 В, I=36 А	18,7	5,79
U=80 В, I=12 А	8,3	2,61
U=80 В, I=36 А	24,9	8,575
U=100 В, I=12 А	10,38	3,63
U=100 В, I=36 А	31,135	10,59
U=120 В, I=12 А	12,45	4,1
U=120 В, I=36 А	37,36	12,7

Производительность электроэрозионной обработки можно вычислить по следующей теоретической зависимости [6]:

$$Q = \frac{60\eta_{\text{и}} UI \cdot 10^6}{c_{\text{д}} \rho_{\text{д}} T_{\text{пл}}},$$

где Q – производительность электроэрозионной обработки, мм<sup>3</sup>/мин;  $\eta_{\text{и}}$  – коэффициент полезного использования энергии импульса;  $T_{\text{пл}}$  – температура плавления обрабатываемого материала, К;  $c_{\text{д}}$  – удельная теплоемкость материала детали, Дж/(кг·К);  $\rho_{\text{и}}$  – плотность материала детали, кг/м<sup>3</sup>.

Отличие теоретических данных от экспериментальных (табл. 2) не превышает 25...40% и объясняется в первую очередь тем, что при выводе теоретической зависимости были сделаны определенные допущения и упрощения, а также не было учтено следующее: неоднородность свойств материалов образца и инструмента; зависимость свойств материала от температуры; режим течения рабочей жидкости и многие другие случайные факторы. Для данного диапазона условий обработки формула расчета производительности полностью подходит. Поправочный коэффициент будет равен единице.

Таблица 2  
Сравнение теоретических и экспериментальных данных по производительности процесса ЭЭО

Условия обработки	$\theta_{\text{теор}}, \text{мм}^3/\text{мин}$	$\theta_{\text{экспер}}, \text{мм}^3/\text{мин}$
U=60 В, I=12 А	2,907	2,74
U=60 В, I=36 А	8,72	8,41
U=80 В, I=12 А	3,875	3,397
U=80 В, I=36 А	11,676	15,541
U=100 В, I=12 А	4,844	4,56
U=100 В, I=36 А	14,533	13,25
U=120 В, I=12 А	5,813	5,18
U=120 В, I=36 А	17,44	18,454

На основании полного факторного эксперимента были получены эмпирические зависимости для расчета объемного износа электрода-инструмента и производительности обработки:

$$\gamma = 20,18 + 96,3A_{и} + 3,35 \cdot 10^{-15} P_{ЭИ} - 8,65 \cdot 10^{-14} P_{ЭИ}^2,$$

$$\theta = -112,13 + 222,5A_{и} - 7,02 \cdot 10^{-15} P_{ЭИ} + 4,12 \cdot 10^{-13} P_{ЭИ}^2,$$

где  $A_{и}$  - энергия импульсов, Дж;  $P_{ЭИ}$ ,  $P_{ЭИ}^2$  - критерий фазовых превращений Палатника для материала электрода-инструмента и материала обрабатываемой заготовки соответственно, Дж·Вт/м<sup>4</sup>.

В реальных производственных условиях была выполнена проверка теоретических зависимостей с учетом введенных поправочных коэффициентов и полученных эмпирических зависимостей. Результаты проведенных на натурном объекте исследований приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты исследований на натурном объекте в реальных производственных условиях

Параметр	Черновой ЭИ (реальные условия)	Чистой ЭИ (реальные условия)	Расчет по теоретическим зависимостям		Расчет по эмпирическим зависимостям	
Энергия импульсов, Дж	5,5	2,5	5,5	2,5	5,5	2,5
Масса износа, г	3,71	0,59	-	-	-	-
Объем износа, см <sup>3</sup>	0,41	0,066	-	-	-	-
Объемный износ, мм <sup>3</sup> /мин	2,278	0,44	3,2	0,6	2,4	0,42
Производительность обработки, мм <sup>3</sup> /мин	200,04	Низкая	120	0,3	190,04	0,21

Как видно из табл. 3, данные, полученные в реальных производственных условиях, отличаются от данных, полученных на основании теоретических и эмпирических зависимостей, на 5...40%, что является допустимым.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Немилов, Е.Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов / Е.Ф. Немилов. - Л.: Машиностроение, 1989. - 164 с.
2. Немилов, Е.Ф. Электроэрозионная обработка материалов: учеб. для ПТУ / Е.Ф. Немилов. - Л.: Машиностроение, 1983. - 160 с.
3. Фотеев, Н.К. Технология электроэрозионной обработки / Н.К. Фотеев. - М.: Машиностроение, 1980. - 184 с.
4. Коваленко, В.С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / В.С. Коваленко. - Киев: Вища школа, 1975. - 236 с.
5. Артамонов, Б.А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. В 2т. Т.1. Обработка материалов с применением инструмента: учеб. пособие / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожалова [и др.]; под ред. В.П. Смоленцева. - М.: Высш. шк., 1983. - 247 с.
6. Сьянов, С. Ю. Определение остаточных напряжений, износа инструмента и производительности при электроэрозионной обработке / С.Ю. Сьянов // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. - 2006. - № 2. - С 59-61.

Материал поступил в редколлегию 4.08.14.