

господарство, виробництво будівельних матеріалів тощо). Показано, що найбільш точним є рівняння (12) $\ln p = -5170,5/T + 13,88$, одержане при використанні МНК.

Список літератури

1. Алабовский А.Н., Константинов С.М., Недужий И.А. Теплотехника.– К.: Вища школа, 1986.– 255 с.
2. Киреев В.А. Курс физической химии. – М.: Химия, 1975. – 776 с.
3. Сабірзянов Т.Г., Кропівний В.М. Теплотехніка ливарних процесів: Навчальний посібник для студентів спеціальності 8.090205 “Обладнання ливарного виробництва”. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – 402 с.
4. Термодинамические свойства неорганических веществ: Справочник / У.Д. Верятин, В.П. Машарев, Н.Г. Рябцев и др. – Под ред. А.П. Зефирова. – М.: Атомиздат, 1965. – 460 с.
5. Сабірзянов Т.Г. Математичне моделювання технологічних процесів лиття: Навчальний посібник для студентів спеціальності 8.090205 “Обладнання ливарного виробництва”. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 74 с.
6. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Гостехтеоретиздат, 1953. – 608 с.

Т. Сабирзянов

Математическая модель равновесия в системе «вода - водяной пар»

При использовании основных физико-химических законов, а также известных методов обработки экспериментальных данных получена математическая модель равновесия в системе «вода - водяной пар». Модель может быть использована при расчетах процессов сушки в металлургии, литейном производстве, сельском хозяйстве, других отраслях народного хозяйства.

T. Sabirjanov

Mathematical model of equilibrium in “water - steam” system

In the article, at using of general physical-chemistry laws and experimental data the mathematical model of equilibrium in “water - steam” system is obtained. The model is useful to calculation of drying process in metallurgy, foundry, agriculture etc.

Одержано 03.11.10

УДК 621.793

А.В. Коваленко, асп., С.П. Поляков, проф., д-р техн. наук, И.И. Фенько, асист.
Черкасский государственный технологический университет

Закономерности формирования покрытия электроискровым методом

В статье рассмотрен электроискровой способ обработки деталей, установлены вольт-амперные зависимости импульса, исследованы изменения тенденции веса анода и катода, установлены зависимости коэффициента прироста материала от мощности импульса и влияние оксидной пленки на обрабатываемой поверхности на коэффициент прироста материала при нанесении локально-точечного и сплошного покрытия.

электроискровая обработка, электроискровое нанесение покрытия, мощность импульса, вольт-амперная характеристика импульса, коэффициент прироста материала

© А.В. Коваленко, С.П. Поляков, И.И. Фенько, 2011

Электроискровая (ЭИ) обработка металлов относится к электроэрозионным (электрофизическим) методам обработки. В данную группу, согласно классификации, входят также: электроимпульсная, электроконтактная и анодно-механическая обработки.

ЭИ обработка используется для изменения изначальных свойств поверхности с целью легирования и упрочнения поверхностных слоев инструментов для увеличения твердости и износостойкости стали; для незначительных увеличений размеров изношенных деталей; для нанесения подслоя перед газотермическим напылением; а также может использоваться для маркировки и росписи.

Результат получаемой поверхности зависит от режима обработки, времени обработки, совместимости материалов анода и катода, от свойства и состояния обрабатываемой поверхности, а также от квалификации рабочего.

В лаборатории электрофизических методов обработки Черкасского государственного технологического университета были проведены исследования по целесообразности применения ЭИ нанесения покрытия для восстановления посадочных мест на валах, используя электрод из стали ШХ15 [1]. Однако, отсутствие единой и полной классификации получаемых покрытий после ЭИ обработки приводит к необходимости исследований зависимости режимов работы от получаемых свойств на поверхности детали.

Задачей работы является установление закономерности образования покрытия от вольт-амперных характеристик (ВАХ) процесса обработки.

Исследования ЭИ обработки проводились на серийном оборудовании: установки марки ЭЛЕКТРОН-50 и ЭЛИТРОН-10 (рис. 1). Условия обработки: материал электрода-инструмента – сталь ШХ15, материал детали – машиностроительная Сталь 45, частота вибрации электрода-инструмента 100 Гц. Режимы обработки на установке ЭЛЕКТРОН-50 емкости: №1, №2, №3; на установке ЭЛИТРОН-10 режимы: №1, №4, №8.

Для измерения ВАХ использовался персональный компьютер с программным обеспечением автоматизированной системы измерения и быстродействующей платой сбора информации АЦП WAD-AD12-128Н. Полностью принцип работы описан в [2], а методика - в [3]. Результаты измерений дублировались на осциллографе С1-64А. Разброс измерений не превышал 5%.

В процессе исследования было установлено, что за один цикл нанесения покрытия проходит два импульса, которые по форме являются несимметричными знакопеременными. Первый импульс возникает при сближении анода с катодом и на определенном расстоянии происходит искровой электрический разряд. В результате



а)



б)

Рисунок 1 – Установки ЭИ обработки: а) ЭЛИТРОН-50; б) ЭЛИТРОН-10

поверхность анода разогревается до оплавления и от анода отделяется капля расплавленного материала, которая движется

к катоду, опережая анод. Расплавленные частицы, попадая на катод, свариваются с ним и частично проникают в его поверхность. Второй импульс тока сопровождается механическим ударом анода. Механический удар анода частично поглощает полученное покрытие, увеличивает его плотность, однородность, прочность сцепления с основой [4]. На рис.2 представлена наиболее характерная

экспериментально-временная зависимость напряжения и рабочего тока для единичного цикла нанесения покрытия. И, как видно, тенденции изменения тока и напряжения по времени совпадают. Результаты измерений напряжения и тока занесены в таблицу 1.

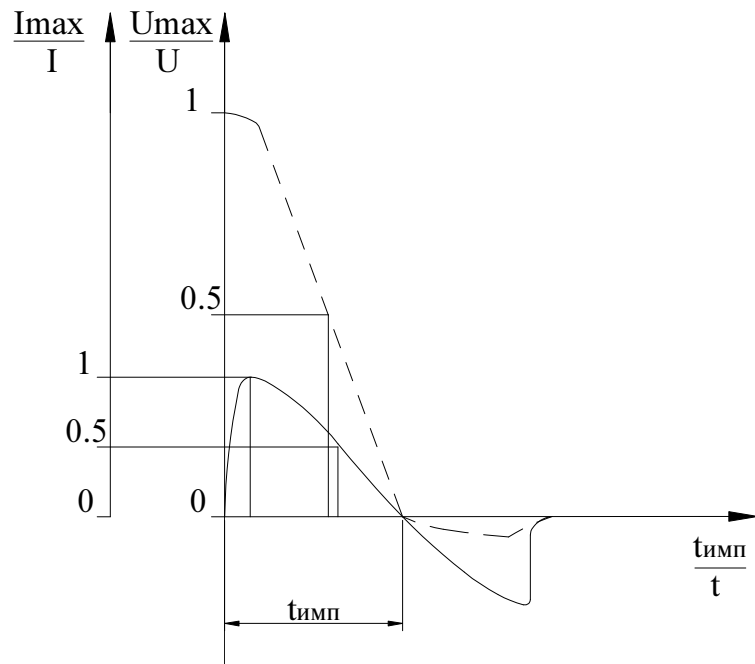


Рисунок 2 – Характерный вид ВАХ при единичном импульсе

Таблица 1 – ВАХ при ЭИ обработке

Установка	Режим обработки	U max, В	I max, А	t _{имп} , мкс	E _i , Дж
Элитрон-10	1	56	290	40	0,27
	4	56	460	45	0,48
	8	56	670	50	0,77
Элитрон-50	1	35	1330	60	1,1
	2	35	2000	70	1,9
	3	35	2670	80	2,9

Таким образом, зная вольтамперные характеристики, время импульса и его форму, можно рассчитать энергию импульса.

Расчет энергии единичного импульса (E_i) проводился по формуле (1) с помощью графического интегрирования напряжения и тока по времени.

$$E_i = \frac{\int U dt \times \int I dt}{t_{\text{ей}}}, \quad (1)$$

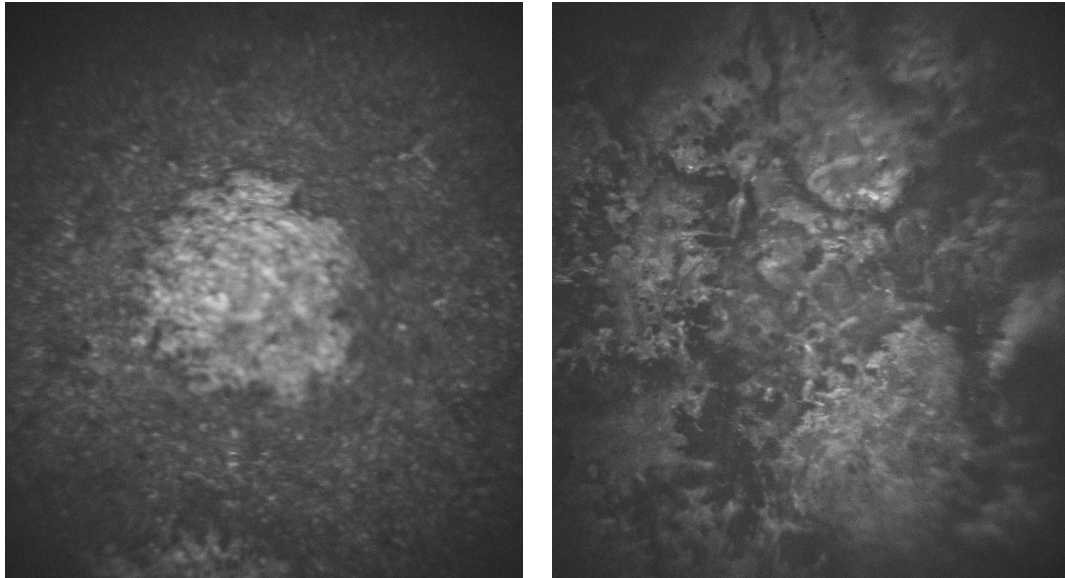
где $\int U dt$ и $\int I dt$ - интегралы напряжения и тока по времени соответственно, $t_{\text{ей}}$ - время длительности импульса.

Так как удельный вес обрабатываемых заготовок (катод - Сталь 45) и используемых электродов (анод - сталь ШХ15) практически одинаковы, то изменения электрода и нанесения покрытия на заготовку можно отслеживать с помощью взвешивания на аналитических весах. За формулой:

$$\Delta m = m_2 - m_1, \quad (2)$$

можно определять тенденцию изменения.

Как известно, тенденция скорости наращивания толщины покрытия в начале обработки поверхности имеет максимальную интенсивность, а потом постепенно уменьшается и в дальнейшем может начать разрушаться [5, 6]. На практике электроискрового нанесения покрытия (ЭИМП) было замечено, что в начале обработки плохо подготовленных поверхностей заметна более повышенная яркость разряда и разбрызгивание металла.



а) нанесенный единичный локальный импульс на поверхности заготовки; б) после перекрытия поверхности заготовки покрытием

Рисунок 3 - Фотографии электроискрового покрытия, $\times 24$

Исследования изменений тенденций веса электрода и заготовки проходило следующим образом:

- на каждый из шести режимов обработки подготавливались по две заготовки ($20 \times 10 \times 3$) и на каждую заготовку отдельный электрод;
- одна заготовка не подвергалась специальной предварительной обработке, а вторая подвергалась струйно-абразивной обработке (САО);
- взвешивания каждой заготовки и электрода проводилось три раза: 1) до обработки; 2) после нанесения единичных локальных импульсов на поверхность заготовки (рис. 3а); 3) после перекрытия поверхности заготовки покрытием (рис. 3б).

Струйно-абразивная обработка проходила при следующих режимах: давление рабочего воздуха $0,4 \div 0,5$ МПа; материал – электрокорунд 14А; фракция - $0,1 \div 0,4$ мм.

При данной обработке полностью с поверхности исчезает загрязнение и оксидная пленка. Результаты проведенного исследования взвешивания образцов приведены в таблице 2, где m_1 , m_2 , m_3 – вес образца до обработки, после нанесение единичных локальных импульсов и после нанесенного сплошного покрытия соответственно; N – число единичных локальных импульсов; $\Delta m_{21} = m_2 - m_1$; $\Delta m_{31} = m_3 - m_1$; t – время обработки; индекс (') означает, что образец перед нанесением покрытия был обработан САО.

Таблица 2- Изменения веса образцов после ЭИМП

Уста новка	Ре жи м, №	Исследу емый образец	Образцы без струйно-абразивной обработки						Образцы, подвергнутые струйно-абразивной обработки							
			m ₁ г	m ₂ г	N	Δm ₂₁ мкг	m ₃ г	Δm ₃₁ мг	t с	m ₁ г	m ₂ г	N'	Δm ₂₁ мкг	m ₃ г	Δm ₃₁ мг	t' с
Э Л И Т Р О Н 10	1	Анод	5,47604	5,47440	288	-5,7	5,45905	-17,0	485	7,71568	7,71412	295	-5,3	7,69966	-16,0	475
		катод	12,87571	12,87583		+0,42	12,88585	+10,14		14,51687	14,51781		+3,2	14,52698	+10,1	
	4	анод	6,75660	6,75235	247	-17,2	6,7353	-21,3	120	7,76724	7,76492	249	+9,3	7,74702	-20,2	122
		катод	13,24495	13,24520		+1,01	13,25685	+11,9		14,89375	14,89375		+5,3	14,9049	+12,47	
	8	анод	7,05547	7,048836	214	-31	7,0304	-25,1	60	8,15585	8,15251	221	-15,1	8,13017	-25,7	58
		катод	14,33022	14,32949		-3,4	14,3426	+12,4		14,17422	14,17601		+8,1	14,18857	+14,35	
Э Л И Т Р О Н 50	1	анод	9,13325	9,12271	155	-68	9,10235	-30,9	47	7,92676	7,92253	194	-21,8	7,8973	-29	49
		катод	15,01749	15,01478		-17,2	15,0313	+13,8		15,49268	15,49470		+10,4	15,5078	+15,1	
	2	анод	6,78520	6,76800	137	-126	6,7490	-36,2	35	8,83446	8,82827	165	-37,5	8,79553	-38,9	34
		катод	14,02425	14,01820		-44,3	14,03985	+15,6		15,40805	15,41094		+17,5	15,42744	+19,4	
	3	анод	8,25045	8,23142	110	-173	8,20845	-42	25	8,35375	8,34551	149	-55,3	8,3107	-43,5	25
		катод	15,50494	15,49839		-59,5	15,5221	+17,2		15,84548	15,84910		+24,3	15,86620	+20,8	

По результатам проведенных взвешиваний образцов возможно рассчитать коэффициент прироста материала (КПМ), переносимого с электрода на деталь (табл. 3):

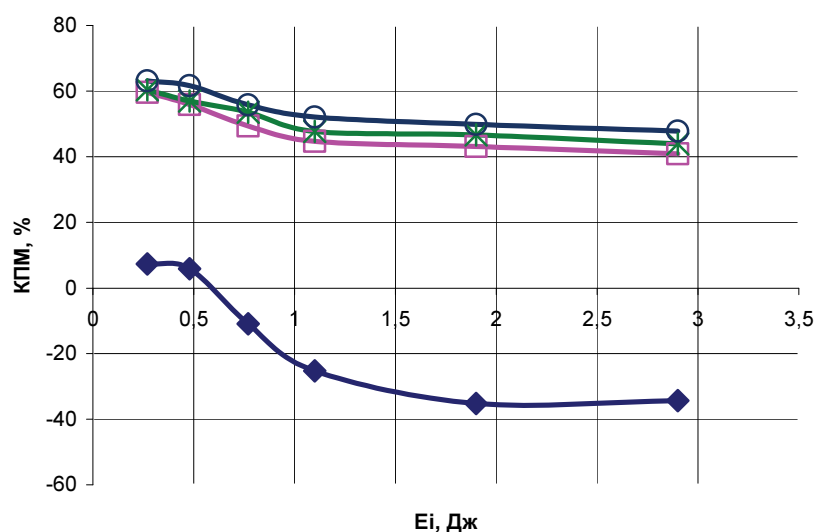
$$\text{КПМ} = \frac{\Delta m_{\text{к}} \times 100\%}{\Delta m_{\text{а}}}, \quad (3)$$

где $\Delta m_{\text{к}}$, $\Delta m_{\text{а}}$ - изменение веса катода и анода за одинаковый промежуток времени в процессе обработки.

Таблица 3 – Коэффициент прироста материала

Установка	Режим, №	КПМ, %		КПМ', %	
		При единичных импульсах	При нанесении сплошного покрытия	При единичных импульсах	При нанесении сплошного покрытия
ЭЛИТРОН-10	1	7,4	59,6	60,4	63,1
	4	5,9	55,9	57	61,7
	8	-11	49,4	53,6	55,8
ЭЛИТРОН-50	1	-25,3	44,7	47,7	52,1
	2	-35,2	43,1	46,7	49,9
	3	-34,4	40,9	43,9	47,8

Таким образом, основываясь на полученных результатах исследования, возможно определить зависимость КПМ от мощности импульса при сплошном нанесении покрытия и при первых локально- точечных нанесенных каплях покрытий на деталь при начале обработки (рис.4).



а), б) – без САО при единичных импульсах и нанесении сплошного покрытия соответственно; в), г) – с предварительной САО при единичных импульсах и нанесении сплошного покрытия соответственно

Рисунок 4 – График зависимости КПМ от мощности импульса

Выводы.

1. При наличие на поверхности детали (катод) окисной пленки прирост материала при нанесении сплошного покрытия уменьшаться до 7 % по сравнению с её отсутствием.

2. При первых импульсах обработки с наличием оксидной пленкой эрозия детали может превышать прирост металла, переносимый с электрода в связи с разрушением оксидной пленки на поверхности детали. И чем мощнее грубый режим обработки, тем больше отрицательный прирост (примерно до -35%).

3. Удаление оксидной пленки с поверхности детали приводит к тому, что прирост металла при первых импульсах практически не отличается от прироста при нанесении сплошного слоя (разница составляет около 4%).

4. На грубых режимах коэффициент прироста металла меньше, чем при чистовых, разница может достигать примерно 20%.

5. Тенденция изменения тока и напряжения по времени совпадают.

Список литературы

1. Коваленко А.В., Поляков С.П., Губарь Э.Я. Применения электроискрового нанесения покрытия для восстановления посадочных мест на валах // тезисы доп. на IV Всеукраїнській науково-практичній конференції "Підвищення надійності машин і обладнання". – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 31-34.
2. Беспалько С.А., Поляков С.П. Программное обеспечение автоматизированной системы измерений на базе персонального компьютера для проведения научных исследований // Тезисы доп. 10-ї ювілейної міждержавної наук.-метод. конф. „Проблеми математичного моделювання”. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2006. – С. 127–128.
3. Осипенко В.І. Наукові основи моделювання та вдосконалення фізико-технологічних процесів електроерозійного дротяного вирізання: Дис. д-ра техн. наук: 05.03.07. – Черкаси, 2005. – 369 с.
4. К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. Інженерія поверхні. – К.: Наукова думка, 2007. – 558 с.
5. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электроискровая обработка токопроводящих материалов. М.: изд. АН МССР, 1959.
6. Золотых Б.Н., Мельдер Р.Р. Физические основы электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1977.

А. Коваленко, С. Поляков, І. Фенько

Закономірності утворення покриття електроіскровим методом

У статті досліджено електроіскровий метод обробки деталей, визначені вольт-амперні залежності імпульсу, досліджені зміни тенденції ваги аноду і катоду, визначені залежності коефіцієнту приросту матеріалу від потужності імпульсу і впливу оксидної плівки на оброблюваній поверхні на коефіцієнт приросту матеріалу під час нанесення локально-точкового і суцільного покриття.

A. Kovalenko, S. Poljakov, I. Fenko

Regularities of cover forming by electrical discharge method

The given article considers electro-sparking method of detail cutting. Also volt-ampere impulse dependences are determined and the tendency of weight changing for anode and cathode is investigated in this work. As well as the dependence of material increasing index to impulse capacity and the influence of oxide layer of working surface on material increasing index under the conditions of localized or solid coverage are investigated.

Одержано 02.11.10