

критериев крайне необходимо, что вызывает настоятельную потребность в проведении обязательных дальнейших направленных исследований. Таким образом, представленные исследования на основе математического моделирования позволяют разработать оптимальный наплавочный материал, обладающий достаточной твердостью, который можно рекомендовать для эксплуатации в среде полужакрепленного абразива без ударных нагрузок.

Список литературы: 1. *Попов С. М.* Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні: Навчальний посібник / *С. М. Попов, Д. А. Антонюк, В. В. Непребо.* – Запоріжжя: ЗНТУ, ВАТ «Мотор Січ», 2010. – 368 с. 2. *Popov S. N.* Wears resistance of metal disposed in working parts of road-boulding machiness during their operation / *S. N. Popov* // The paton welding journal, 2000. – №8. – P.14-18. 3. *Jankauskas V.* Research of strengthening plough parts by welding / *V. Jankauskas, R. Kreivaitis, D. Stonkus, A. Andriušis* // *Mechanika*, 2008. – №.1(69), P.80-84. 4. *Popov S. N.* Adequacy analysis of methods of forecasting the abrasive stability steels and alloys / *S.N. Popov* // *Problems of Tribology.* – Хмельницький: Хмельницький національний університет Міністерства освіти і науки України: журнал – 2005. – №2 (35). – С.95-101. 5. *Graff L.* Discrete element method simulation of wear due to soil-tool interaction: a thesis... master science: Agricultural and Bioresource Engineering / *Lyndon Graff.* – Saskatoon, Canada, 2010. – 120 p. 6. *Попов С. Н.* Математическое моделирование и разработка высокоизносостойких рабочих покрытий биматериалов на базе системы легирования Fe-C-Cr-B-Si / *С. Н. Попов, А. А. Мутяев* // Придніпровський науковий вісник, 1998. – № 12 (79). – С. 9-14. 7. *Мутяев О.* Агдезійна міцність стійких проти спрацювання Fe-C-Cr-B-Si сплавів / *О. Мутяев, С. Попов* // *Машинознавство*, 2000. – № 10 (40). – С. 15-18. 8. Forecasting of mechanical properties of weld connections after the thermodeformation cycle on the basis of the mathematical regression analysis [Text] / *S. N. Popov, V. V Naumik., T. V. Popova, D. A. Antonyuk* // *Нові матеріали та технології в металургії та машинобудуванні*, 2004. – №1. – С.150-156.

Надійшла до редколегії 20.12.2012

УДК 669.018.25:519.863

Анализ совместного влияния химического состава и твердости наплавочных сплавов Fe-C-Cr-B-Si на способность к сопротивлению абразивному изнашиванию / С. Н. Попов // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2012. - № 68 (974). – С. 10-14. – Бібліогр.:8 назв.

У статті подано дослідження сукупного впливу хімічного складу і механічних властивостей наплавлювальних матеріалів на здатність до спрацювання у середовищі напівзакріпленого абразиву без ударних навантажень. Запропоновано алгоритм аналізу комплексного впливу хімічного складу і твердості наплавлювальних сплавів Fe-C-Cr-B-Si на здатність до опору абразивному зношуванню. Проведено математичне планування експерименту та отримана нелінійна система рівнянь впливу вмісту вуглецю, хрому, бору та кремнію в сплаві на твердість HRC і відносну зносостійкість ϵ_m .

The paper presents the study of joint influence of the chemical composition and mechanical properties of the coating materials in the environment semifixed abrasive without shock. The algorithm for the analysis of the combined effect of the chemical composition and hardness of hardfacing alloys Fe-C-Cr-B-Si on the ability to resist abrasion. The mathematical design of experiments and the nonlinear system of equations of the influence of carbon, chromium, boron, and silicon in the alloy hardness HRC and the relative durability of ϵ_m .

Keywords: hardness, chemical composition, coating materials, wear resistance, regression.

УДК 621.9.048.4

Л. Ф. ГОЛОВКО, д-р техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ;
О. С. ЧУМАЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., КНТУ, Кировоград

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ МНОЖЕСТВЕННЫМ РАЗРЯДОМ

Исследованы показатели производительности, шероховатости, глубины измененного слоя поверхности деталей после электроэрозионной обработки множественным разрядом в потоке жидкости.

© Л. Ф. ГОЛОВКО, О. С. ЧУМАЧЕНКО, 2012

Ключевые слова: технология, электроэрозия, множественный разряд, производительность, шероховатость, глубина измененного слоя.

Введение

Современные технологии металлообработки с использованием высококонцентрированных источников тепла интенсивно развиваются, поскольку позволяют быстро и качественно обрабатывать детали из высокопрочных материалов [1, 2]. Электроэрозионная обработка (ЭЭО) множественным разрядом в потоке жидкости динамическим давлением больше 1 МПа соединяет в себе преимущества традиционной ЭЭО нестационарным разрядом, имеющим высокие энергетические характеристики, и размерной обработки стационарной электрической дугой (РОД), имеющей на порядок более высокую производительность. Такой процесс можно использовать в условиях серийного производства [3, 4].

Цель работы. Целью работы является исследование влияния физико-технологических характеристик процесса обработки множественным разрядом (сила тока, рабочее напряжение, статическое давление жидкости на входе в зазор, технологическая схема формообразования), определяющих энергетические параметры разрядов, на производительность и качество обработанной поверхности.

Методика экспериментов. Эксперименты выполнялись на универсальных копировально-прошивочных станках для размерной обработки дугой (РОД) Дуга-8Д и АМ-1.

Образцы из сталей 3, Х12М, 9ХС обрабатывали на прямой и обратной полярности электродом-инструментом из материала МПГ-7, имеющего высокую эрозионную стойкость в рабочей среде из смеси керосина (50%) и масла индустриального И-12 (50%). Использовали типовые технологические схемы

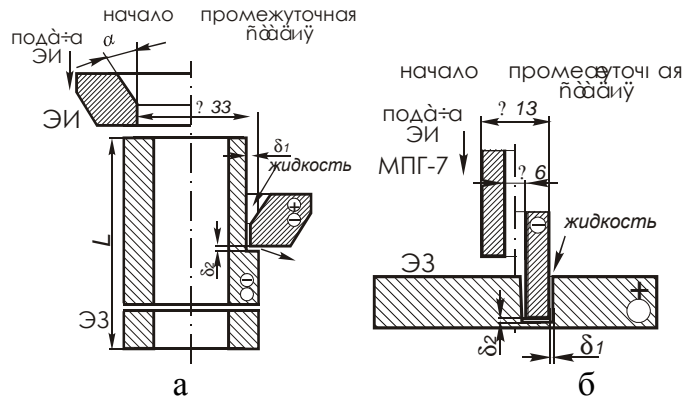


Рис. 1 - Технологические схемы формообразования: а – обработка внешнего контура; б – обработка отверстия

формообразования: обработка внешнего контура при прямой прокачке рабочей жидкости (рис. 1, а) и обработка отверстия при обратной прокачке (рис. 1, б). Осциллографирование электротехнологических характеристик процесса (силы тока, напряжения, статического давления рабочей жидкости) выполняли с помощью платы АЦП L-264 с частотой преобразования 200 кГц, установленной на ПЭОМ с процессором Intel®-486 и пакета программного обеспечения «Oscilloskop» (рис. 2). Микроструктуры исследованы на электронном микроскопе.

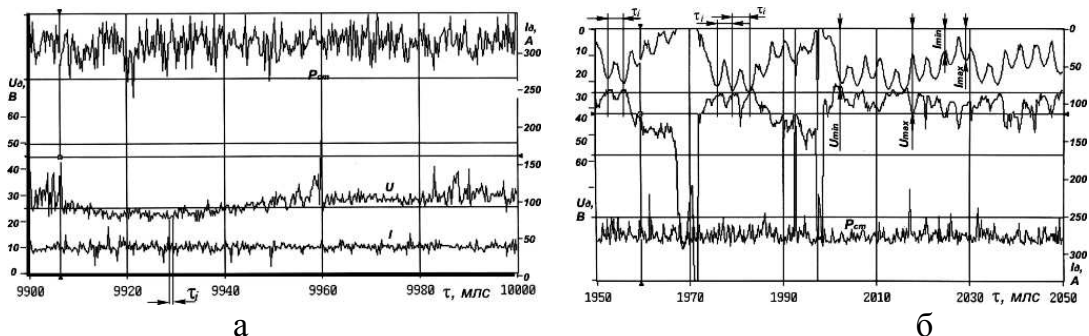


Рис. 2 - Типовые осциллограммы процесса обработки: а – обработка внешнего контура; б – обработка отверстия

Обсуждение результатов

Для указанных условий состава рабочей жидкости, материала и полярности электродов, производительность обработки, является функцией силы тока, напряжения, динамического давления потока рабочей жидкости и геометрии ЭИ. В условиях экспериментов силу тока варьировали в диапазоне $I = 50 \dots 500$ А, давление жидкости – $P_{ст} = 0,5 \dots 2$ МПа, напряжение $U = 25 \dots 35$ В. На основании ранжирования факторов, основными управляющими факторами является сила технологического тока и статическое давление жидкости на входе в зазор. Полученная зависимость позволяет сделать вывод, что производительность обработки в диапазоне отмеченных режимов определяется преимущественно силой тока (растет приблизительно прямо пропорционально увеличению I) и меньше – статическим давлением (уменьшается при увеличении P_s). Ограничение по силе тока – 500 А налагаются величиной площади поперечного сечения ЭИ.

На осциллограммах процесса видно, что длительность элементарных эрозионных актов τ при обработке по внешнему контуру (рис. 2, а) меньше, чем при обработке отверстий (рис. 2, б). Поскольку энергетические характеристики более коротких по длительности разрядов выше, это позволяет обеспечить высокое качество поверхности. На осциллограмме (рис. 2, а) работе разрядов на входе потока в зазор соответствуют участки, где колебания напряжения очень незначительны (9920-9940, 9960-9980 мкс). На остальных участках осциллограмма напряжения характерна для разрядов при выходе потока из зазора. Для технологической схемы обработки внешнего контура производительность выше по сравнению с обработкой отверстий благодаря саморегулированию энергетических характеристик разрядов. Так, большую часть припуска разрушают плавлением разряды, близкие по энергетическим характеристикам к стационарной дуге, поскольку скорость потока при выходе из зазора равна нулю (поток не сжимает плазменный канал разряда), а на входе потока в зазор скорость потока максимальная, канал разряда сжат, и непосредственно на поверхности обработки происходит испарение материала, которое обеспечивает высокое качество. На короткой трассе эвакуации продуктов эрозии (рис. 3) практически исключено повторное диспергирование. Гидравлическое сопротивление очень незначительное и скорость потока может достигать 50 м/с. Для производительности обработки на указанных режимах определяющей является сила тока I и статическое давление рабочей жидкости



Рис. 3 - Электроды при обработке внешнего контура: а – инструмент; б – заготовка

P_s . Для обработки по внешнему контуру, мм³/мин:

$$M = 7,41 I^{1,07} P_s^{-0,32} \quad (1)$$

Производительность обработки отверстий ниже, вследствие большей длины трассы эвакуации продуктов эрозии и повторного диспергирования продуктов эрозии. Зависимость производительности M обработки отверстий от I и P_s , мм³/мин:

$$M = 13,89 I^{0,92} P_s^{-0,29} \quad (2)$$

Качество обработанной поверхности определяется шероховатостью (рис. 4) и глубиной зоны термического влияния (табл.).

Шероховатость зависит преимущественно от статического давления на входе в зазор

(уменьшается при увеличении P_s) и меньше от величины технологического тока: увеличивается при увеличении I .

Зависимость шероховатости поверхности от I и P_s находят пр формуле, мкм:

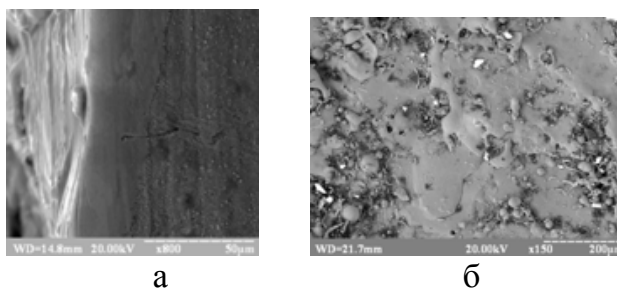


Рис. 4 - Обработанная поверхность образца: Ст 20 – катод, МПГ-7 – анод, $I = 100\text{A}$, $U = 30\text{ В}$, $P_{ст} = 1\text{МПа}$

$$Ra = 1,67 I^{0,28} P_s^{-0,99} . \quad (3)$$

Зависимость шероховатости Ra обработки отверстий от I и P_s при оптимальной форме рабочей части ЭИ, мкм:

$$Ra = 1,08 I^{0,41} P_s^{-1,12} \quad (4)$$

При увеличении коэффициента сопротивления зазора, снижается скорость потока жидкости и повышается шероховатость. Величина припуска на обработку определяет длину трассы эвакуации продуктов эрозии и чем она меньше, тем меньшая шероховатость обработанной поверхности.

Рассмотрим как количественно влияют технологические и геометрические факторы процесса на величину ЗТВ при обработке внутренних и внешних контуров деталей. Основными управляющими факторами при этом также являются сила технологического тока и статическое давление жидкости на входе в зазор. Анализ микроструктур обработанных образцов показывает, что глубина ЗТВ в условиях ЭЭО множественным разрядом может быть практически одинаковой, когда сила тока отличается в 5 раз благодаря перераспределению общей электрической мощности на n -ное количество токопроводящих каналов.

При обработке стали X12M ($I = 100\text{ А}$, $U = 32\text{ В}$, $P_s = 0,5\text{ МПа}$) на обратной полярности ЗТВ составляет $0,01 - 0,04\text{ мм}$, преимущественно $0,02\text{ мм}$, локально очень мала или отсутствует. Микротвердость белого слоя $H_{50} = 760-850\text{ кг/мм}^2$. Фазовый состав слоя: $\gamma + \alpha$. При режиме обработки $I = 100\text{ А}$, $U = 32\text{ В}$, $P_s = 2\text{ МПа}$ ЗТВ составляет $0,005 - 0,02\text{ мм}$, преимущественно $0,01\text{ мм}$, локально отсутствует. Микротвердость белого слоя $H_{50} = 760-950\text{ кг/мм}^2$. Фазовый состав слоя: $\gamma + \alpha$. Микротрещины отсутствуют. При $I = 500\text{ А}$, $U = 33\text{ В}$, $P_s = 2\text{ МПа}$ ЗТВ $0,01 - 0,03\text{ мм}$, в основном $0,02\text{ мм}$, локально $0,05\text{ мм}$. Микротвердость белого слоя $H_{50} = 680-910\text{ кг/мм}^2$. Упрочнение подложки $H_{50} = 310\text{ кг/мм}^2$. Микротвердость неупрочненного основного слоя $H_{50} = 270\text{ кг/мм}^2$. Фазовый состав слоя: $\gamma + \alpha$.

При обработке стали 9ХС ($I = 500\text{ А}$, $U = 31\text{ В}$, $P = 0,5\text{ МПа}$) на обратной полярности ЗТВ составляет $0,05 - 0,11\text{ мм}$, белый слой – $0,03 - 0,08\text{ мм}$, закаленный подслоя – $0,01-0,03\text{ мм}$. Микротвердость белого слоя $H_{50} = 550-680\text{ кг/мм}^2$. Закаленный слой $H_{50} = 760-900\text{ кг/мм}^2$. Фазовый состав: аустенит + мартенсит. При $I = 500\text{ А}$, $U = 34\text{ В}$, $P_s = 2\text{ МПа}$, ЗТВ : $0,03 - 0,06\text{ мм}$ или отсутствует, упрочненный подслоя – $0,01-0,15\text{ мм}$.

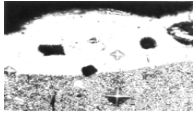
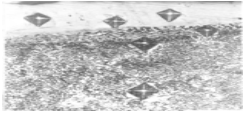

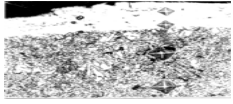


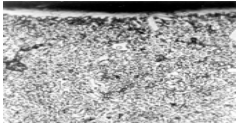
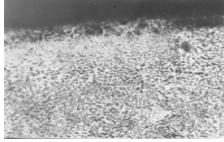

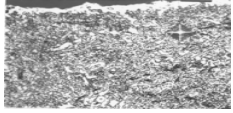
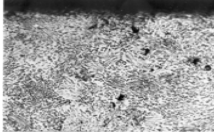
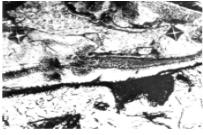
Зависимость ЗТВ H при обработке внешних контуров ЭИ от I и P_s , мкм:

$$H = 0,06 I^{0,91} P_s^{-1,16} \quad (5)$$

Зависимость величины ЗТВ H при обработке отверстий от I и P_s , мкм:

$$H = 0,03 I^{1,11} P_s^{-0,73} \quad (6)$$

Таблиця - Микроструктури образцов при обработке по внешнему контуру (× 400)

Режим обра-ботки		Материал заготовки		
		X12M	9XC	Ст 3
Рд = 0,5 МПа	I = 100А			
	I = 500 А			
2 МПа	I = 100А			
	I = 500 А			

Выводы

В исследованом диапазоне режимов ЭЭО множественным разрядом внешнего контура и отверстий деталей производительность съема металла пропорциональна силе тока, увеличивается при увеличении I, составляет 10 тыс. мм³/мин, при этом качество обработки регулируется динамическим давлением рабочей жидкости и благодаря распределению электрической мощности по нескольким токопроводящим каналам соответствует малой силе тока. Шероховатость составляет 1...16 мкм, а ЗТВ может практически отсутствовать.

Список литературы: 1. *Поплов Л. Я.* Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов. – М. – Л. : Машгиз, 1971. – 544 с. 2. *Электроразрядная обработка металлов / Левинсон Е. М. и др.* – Л.: Машиностроение, 1975. – 345 с. 3. *Носуленко В. І.* Розмірна обробка металів електричною дугою: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.03.07 / Кіровоградський держ. техн. ун-т. - К., 1999. – 36 с. 4. *Носуленко В. І.* Якість приелектродних джерел тепла множинного електричного розряду [Текст] / *В. І. Носуленко, О. С. Чумаченко* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – №1(49). – С. 32-37.

Надійшла до редколегії 20.12.2012

УДК 621.9.048.4

Технологические характеристики электроэрозионной обработки множественным разрядом/ Головки Л. Ф., Чумаченко О. С. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2012. - № 68 (974). – С. 14-18. – Бібліогр.:4 назв.

Досліджені показники продуктивності, шорсткості, глибини зміненого шару поверхні деталей після електроерозійної обробки множинним розрядом в потоці рідини.

Ключові слова: технологія, електроерозія, множинний розряд, продуктивність, шорсткість, глибина зміненого шару.

The indexes of the productivity, roughnesses, are investigational, depths of the changed layer of surface of details after an electromachining a plural digit in the stream of liquid.

Keywords: technology, electroerosion, plural digit, productivity, oughness, depth of the changed layer.