

Таким образом, в результате проведенных исследований получены рекомендации по повышению качества обрабатываемой поверхности детали в процессе прошивания за счет усовершенствования (модернизации) конструкции режущего инструмента.

Литература

1. Бекаев А.А. Повышение геометрических параметров качества обрабатываемой поверхности детали в процессе протягивания (прошивания) на основе совершенствования динамических характеристик привода оборудования: Диссерт. канд. техн. наук. Москва. 2006 – 274 с.
2. Кочетков Я.П., Кочетков Ю.А. Осевые деформации зубьев круглой протяжки при врезании в заготовку // Станки и инструмент. – 1971. №4 – с. 28-30.
3. Кочетков Я.П., Кочетков Ю.А. Деформации зубьев круглой протяжки в радиальном направлении // Станки и инструмент. – 1972. №10 – с. 20-23.
4. Кочетков Я.П., Кочетков Ю.А. Взаимосвязь осевых и радиальных деформаций зубьев круглой протяжки // Рукопись деп. в РЖ ВИНТИ 10.12.75. №128-75 – 12 с.
5. Крутякова М.В. Повышение эффективности протягивания на основе оптимизации конструкции инструмента путем математического моделирования: Диссерт. канд. техн. наук. Москва. 2004 – 260 с.
6. Режимы резания металлов: Справочник /Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.Д. Корчемкин и др./ Под. ред. А.Д. Корчемкина. – М.: НИИТавтопром, 1995 – 456 с.

Биполярный электрод как инструмент реализации синергетических принципов управления процессом электрохимической обработки деталей машин

д.т.н., проф. Вячеслава О.Ф., Потапов В.Н.
МГТУ «МАМИ», ФГУП НПО «Техномаш»

Введение

Электрохимическая размерная обработка занимает особое место в технологических процессах деталей машин, изготавливаемых из труднообрабатываемых материалов, таких как титановые, нержавеющие жаропрочные сплавы. Она находит широкое применение в обработке деталей двигателей аэрокосмической техники, транспорта, химическом машиностроении и др.

Управление процессом электрохимической обработки (ЭХО) с целью обеспечения заданных выходных параметров деталей представляет собой в техническом отношении сложную и трудоемкую задачу. В последнее время в технологии ЭХО для обеспечения деталей заданными эксплуатационными характеристиками начинают применять принципы синергетики [1]. При этом между эксплуатационными свойствами деталей и технологическими параметрами процесса устанавливается взаимосвязь через некие интегральные критерии технологической системы. К ним можно отнести такие критерии, как гидродинамический критерий ЭХО $H_{\text{эхо}}$, критерий диффузионного потока D_i , миграционного потока M_i , конвективного потока C_{oi} .

Размерная электрохимическая обработка протекает в условиях температурной, химической, кинематической неоднородностей, следствием чего является самоорганизация различных потоков энергии: электрической, тепловой, массы, химической и т.п. Как показал анализ подсистем, влияющих на протекание процесса ЭХО [2,3], каждая из них находится во взаимодействии друг с другом, формируя «выходные» технологические характеристики размерной ЭХО: точность процесса, его производительность и шероховатость поверхности деталей. Сложную задачу увязки всех подсистем дает возможность существенно упростить синергетический подход, позволяющий из всех «переменных» процесса вычленив лишь одну, а все остальные выражать через так называемый параметр порядка [4-6]. Таким параметром по-

рядка может быть выбрана такая характеристика, как плотность анодного тока, связанная с газонасыщением межэлектродного промежутка, гидродинамикой электролита и его химическим составом, напряжением на электродах и т.д.

Реализация описанного синергетического подхода может быть осуществлена путем применения электродной системы специальной конструкции – биполярного электрода, конструкция и принцип работы которого обеспечивают управление процессом.

Одним из решений этой проблемы является применение для ЭХО биполярного электрода (БПЭ), который может обеспечить управление процессом [2], рис.1.

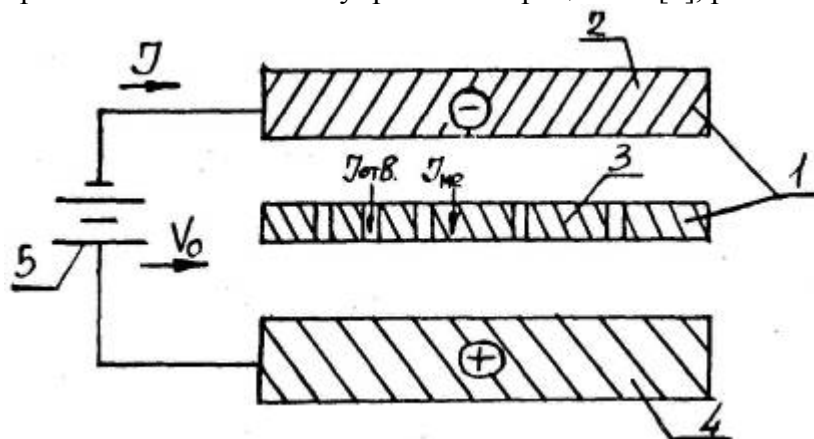


Рис. 1. Схема электрохимической обработки катодом-инструментом с биполярным электродом: 1 – катод-инструмент; 2 – катод; 3 – биполярный электрод с отверстиями; 4 – анод; 5 – источник питания; J – общий ток; $J_{отв}$ – ток, проходящий через отверстия в биполярном электроде.

БПЭ представляет собой металлическую пластину с отверстиями (рис. 1), за счет которых происходит разделение общего тока: $J_{отв}$ – ток, проходящий через отверстия в БПЭ, и $J_{мет}$ – ток, проходящий через металл этого электрода. При такой схеме ЭХО биполярный электрод является формообразующим элементом, работающим независимо от катода 2. Поэтому распределение тока по длине обрабатываемой детали будет зависеть от того, сколько газа в промежутке между БПЭ и анодом 4 и как распределяется газосодержание в нем.

Количество газа в этом промежутке зависит от величины тока $J_{зав}$, который, в свою очередь, определяется электрохимическим сопротивлением анодного и катодного процессов, происходящих на поверхности БПЭ, а также сопротивлением электролита в отверстиях БПЭ. Увеличение площади, занимаемой отверстиями, приводит к снижению количества газа в промежутке между БПЭ и анодом, поскольку происходит уменьшение тока $J_{зав}$.

При такой схеме обработки равномерное распределение газосодержания по длине межэлектродного промежутка можно обеспечить за счет отвода газожидкостной смеси через отверстия в БПЭ. Через отверстия в БПЭ проходит ток, следовательно, напротив отверстий отсутствуют макровыступы.

Шероховатость поверхности катода при его работе в совокупности с БПЭ не влияет на шероховатость поверхности обрабатываемой детали. Поэтому катод следует изготовить с развитой поверхностью из материала с минимальным перенапряжением выделения водорода. Это приводит к снижению энергетических затрат.

Таким образом, БПЭ с отверстиями позволяет уменьшить концентрацию газа и обеспечить равномерное газосодержание в зазоре между обрабатываемой деталью и формообразующим элементом (БПЭ). За счет этого произойдет равномерное распределение плотности тока по обрабатываемой детали, а значит, увеличится точность обработки и уменьшится ше-

роховатость поверхности. Кроме того, снижение газосодержания позволяет осуществить ЭХО на высоких плотностях тока, которые невозможно реализовать при работе по обычной схеме.

В случае непосредственного контакта БПЭ с обрабатываемой деталью произойдет лишь увеличение технологического тока. Поэтому в установке для ЭХО достаточно применить устройство для защиты источника питания от перегрузок [3].

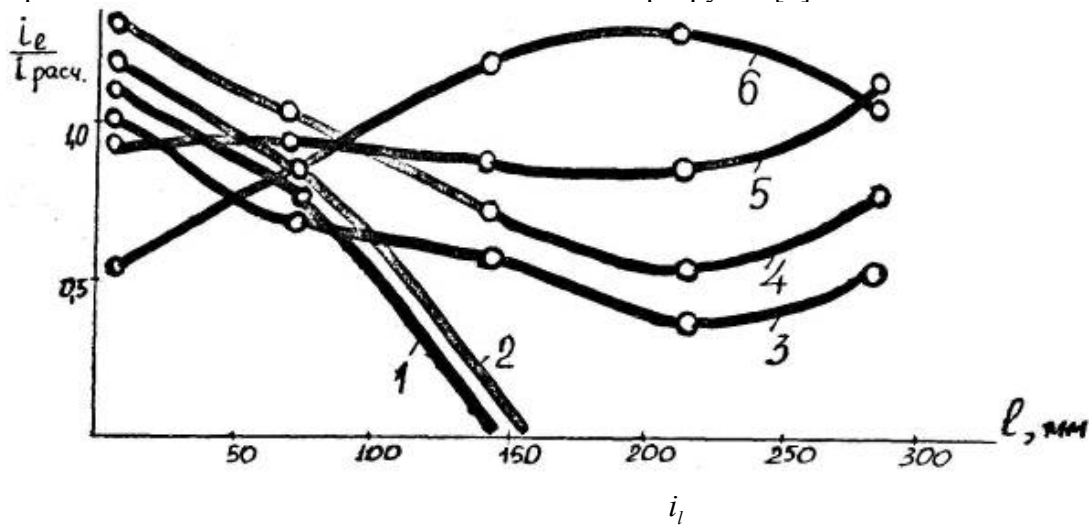


Рис. 2 - Относительное изменение плотности тока $\frac{i_e}{i_{расч}}$ по длине обработанной детали l : 3,4,5 – пористость БПЭ – 3%, 6 – пористость 30%; изменение плотности тока:

$$1 - i_{расч} = 10,4 \frac{A}{см^2}; \quad 2 - i_{расч} = 12,1 \frac{A}{см^2}; \quad 3 - i_{расч} = 10,4 \frac{A}{см^2}; \quad 4 - i_{расч} = 11,3 \frac{A}{см^2};$$

$$5 - i_{расч} = 14,0 \frac{A}{см^2}; \quad 6 - i_{расч} = 10,2 \frac{A}{см^2}.$$

На рис. 2 представлены результаты опытов по распределению тока по длине образца. Для сравнения здесь же приведены данные, полученные при обработке без БПЭ.

На рис. 3 показано изменение шероховатости поверхности по длине образца.

При обработке с БПЭ шероховатость изменяется в диапазоне $R_a = 0,10 \div 0,25$ мкм для опытов 2,3,4 и $R_a = 0,16 \div 0,32$ мкм для опыта 5, в то время как при обычном методе - $R_a = 0,125$ мкм на выходе и $R_a = 0,8$ мкм в середине образца. По всей длине обработки отсутствуют макровыступы.

Синергетический эффект при ЭХО биполярным электродом заключается в возникновении процессов «самоотжатия» электродной системы, разряжения, «всасывания» жидкости в МЭЗ, самоотдачи инструмента до его контакта с обрабатываемой деталью, «самосмены» полярности рабочей части инструмента и повторение указанного цикла до тех пор, пока на электродную систему подается рабочее напряжение [2]. Рассмотрим эти эффекты подробнее (табл. 1).

С этой целью введены обозначения: δ_1 – межэлектродный зазор; δ_2 – зазор биполярного электрода; U_p – рабочее напряжение; P_k – давление в камере; P_3 – давление в зазоре; P_G – масса электродной системы; $V_{\text{Э}}$ – объем электролита; V_{H_2} – объем водорода в зазоре. Анализируется случай электрохимической прошивки детали, т.е. образование формы в заготовке при поступательном движении инструмента (постоянном или переменном). При таком размерном формообразовании деталей возможно использование двух схем ЭХО. Электрохими-

ческая обработка по первой схеме – ЭХО в открытой камере – представляет анодное растворение детали, когда зона межэлектродного промежутка непосредственно сообщается с окружающей средой. Вторая схема описывает электрохимическую обработку, когда зона анодного растворения закрыта от непосредственного сообщения с окружающей средой.

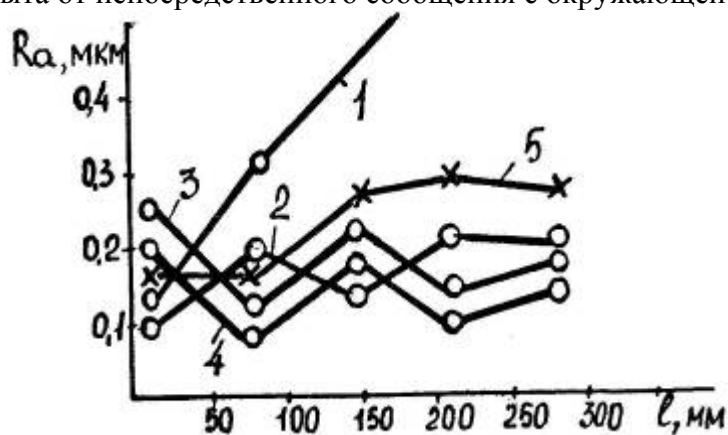


Рис. 3 - Изменение высоты неровности шероховатости R_a по длине обрабатываемой детали l : 1 – стандартный инструмент; 2,3,4,5 – инструмент с БПЭ; 2,3,4 – пористость БПЭ – 3%; 5 – пористость 30%; шероховатость:

$$1 - \text{при } i = 12,1 \frac{A}{\text{см}^2}; \quad 2 - i = 10,4 \frac{A}{\text{см}^2}; \quad 3 - i = 14,0 \frac{A}{\text{см}^2}; \quad 4 - i = 11,3 \frac{A}{\text{см}^2}; \quad 5 - i = 12,4 \frac{A}{\text{см}^2}.$$

Механизм самоуправления для ЭХО по открытой схеме состоит из нескольких этапов.

На первом этапе, в исходном положении, электрод-инструмент находится в контакте с обрабатываемой деталью. Зазор-щель между пластиной биполярного электрода и телом катода-инструмента δ заполняется раствором электролита, причем отверстия в металлической пластинке также заполняются этой жидкостью. Давление электролита равно давлению окружающей среды: $P_3 = P_{\text{окр.сп.}}$. Межэлектродный зазор равен нулю: $\delta = 0$. Напряжение источника питания равно нулю: $U_p = 0$.

В межэлектродном зазоре катода с БПЭ начинается электрохимический процесс, этап 2. Поверхность биполярного электрода, обращенная к катоду, выполнена таким образом, что анодного растворения ее не происходит, а идет процесс интенсивного, бурного газообразования. Давление в зазоре возрастает и начинает превышать давление окружающей среды $P_3 > P_{\text{окр.сп.}}$. Контакт БПЭ с обрабатываемой деталью сохраняется из-за превышения величины массы электродной системы давления в зазоре $P_G > P_3$.

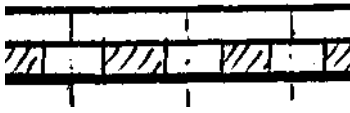
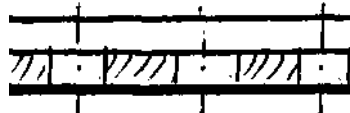
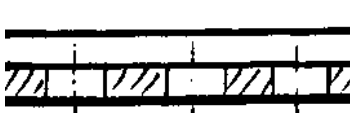
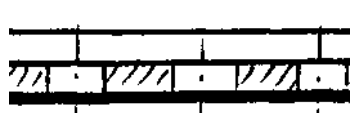
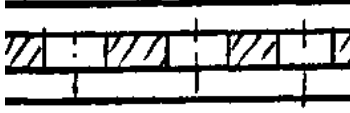
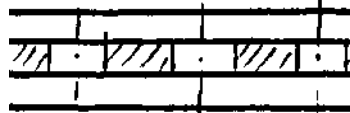
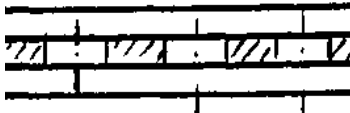
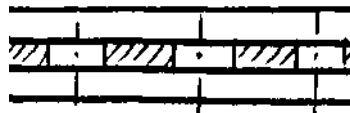
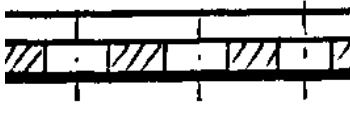
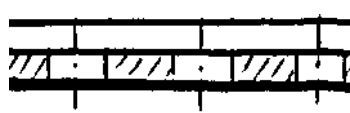
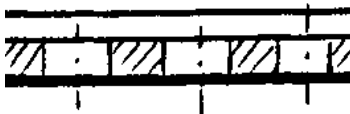
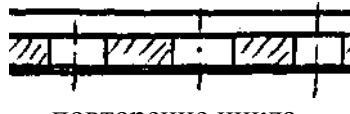
На третьем этапе процесса ЭХО инструментом с БПЭ давление газа в зазоре начинает превышать силу тяжести электродной системы ($P_3 > P_G$). Давление газа распространяется и в отверстия пластинки БПЭ, в силу чего биполярный электрод отжимается от поверхности анода. Появляется зазор между БПЭ и анодом – основной, рабочий зазор. Это приводит к смене полярности и поверхность БПЭ приобретает отрицательный заряд – становится катодом.

Четвертый этап – рабочий период, в ходе которого происходит собственно электрохимическая обработка – растворение поверхности обрабатываемой детали. Водорода образуется так много, что его объем превышает объем электролита $V_{H_2} > V_{\text{э}}$. Это приводит к прекращению процесса анодного растворения и электродная система под действием силы тяже-

сти начинает перемещаться вниз. Наступает пятый этап, когда зазор δ_1 уменьшается до нуля. Происходит смена полярности. Одновременно за счет капиллярного эффекта идет всасывание очередной порции свежего электролита. Последний заполняет отверстия в БПЭ и зазор δ_2 . Поскольку напряжение не убирается, а источник питания защищен от перегрузок, то в зазоре начинает выделяться водород и цикл повторяется.

Таблица 1.

Схема управления ЭХО инструментом с БПЭ на основе принципов синергетики

		Открытая камера		Закрытая камера	
		схема		схема	
1	- + +		$\delta_1 = 0;$ $P_3 = P_{o.c.};$ $U_p = 0;$ $P_G = P_3;$ $V_{\text{э}} = V\delta_2.$		$\delta_1 = 0;$ $P_3 = P_{o.c.};$ $U_p = 0;$ $P_G > P_3;$ $V_{\text{э}} = V\delta_2.$
2	- + +		$U_p > 0;$ $P_3 > P_{o.c.};$ $P_3 \rightarrow P_G;$ $V_{\text{э}} = V\delta_2.$		$U_p > 0;$ $P_3 > P_{o.c.};$ $P_3 \rightarrow P_G;$ $V_{\text{э}} = V\delta_2.$
3	- + - +		$U_p > 0;$ $P_3 \geq P_G;$ $V_{\text{э}} = V(\delta_1 + \delta_2)$ Смена полярности		$U_p > 0;$ $P_3 \geq P_G;$ $V_{\text{э}} = V(\delta_1 + \delta_2)$ Смена полярности
4	- + - +		$U_p > 0;$ $P_3 \geq P_G;$ $V_{H2} > V_{\text{э}}.$		$U_p > 0;$ $P_3 \leq P_G;$ $V_{H2} > H_{\text{э}}$
5	- + +		$U_p > 0;$ $P_3 < P_G;$ $\delta_1 \rightarrow 0;$ смена полярности		$U_p > 0;$ $P_3 < P_G;$ $\delta_1 \rightarrow 0;$ вскипание; выброс электролита
6	- + +		Капиллярное всасывание; повторение цикла		Всасывание из-за разряжения в зоне δ_2 и капиллярного эффекта

Отличие работы по самоуправляемой схеме в закрытой камере заключается в содержании 5 и 6 этапа. Поскольку нет свободного сообщения зазора δ_1 с окружающей средой, то на 5 этапе происходит вскипание электролита, выброс и образование зоны разряжения (повы-

шенного давления) в зазоре P_3 . Таким образом, всасывание порции свежего электролита идет за счет разряжения и капиллярного эффекта.

Исходя из этого, можно заключить, что для данных режимов обработки существует оптимальная геометрия биполярного электрода.

На рис. 3 показано изменение шероховатости поверхности по длине образца. При обработке с БПЭ шероховатость изменяется в диапазоне R_a 0,10-0,25 мкм для кривых 2,3,4 и в диапазоне 0,16-0,32 мкм для кривой 5, в то время как для обычного метода обработки шероховатость составляет R_a 0,125 мкм и 0,8 мкм в начале образца и в его середине соответственно.

Выводы

Результаты экспериментов показывают, что применение биполярного электрода позволяет равномерно распределить ток по обрабатываемой поверхности детали, тем самым повысить точность формообразования и качество поверхностного слоя обрабатываемых деталей, снижение неравномерности распределения шероховатости по длине образца: от $R_a = 0,125-0,8$ мкм (в начале и середине образца) при ЭХ обработке обычным катодом-инструментом, до $R_a = 0,10-0,25$ мкм с использованием биполярного электрода-инструмента.

Конструкция биполярного электрода обеспечивает самоорганизацию процесса электрохимического формообразования за счет такого управляющего параметра, как плотность анодного тока.

Литература

1. Хейфец М.Л., Кожуро Л.М. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. Гомель:ИЛМСНАНБ, 1999, 276с.
2. Витязь Л.А., Кожуро Л.М., Филатов И.П., Хейфец М.Л. Свойства технологической среды при электрофизической обработке. Тезисы докладов международного научного симпозиума «Фракталы и прикладная синергетика». М.: МГОУ, 2003, с.205-210.
3. Вдовенко В.Г. Эффективность электрохимической обработки. Красноярск, издательство КГУ, 1991, 245с.
4. Синергетика и методы науки. Сб. статей/С.-Петербург,- Союз ученых.- Н.-Исследовательский центр,»Синергетика., С.-Пб.:Наука,1998. 438 с.
5. Синергетика. Труды семинара/МГУ им. М.В.Ломоносова, М.: изд.-во МГУ- вып.1, 1998, 256 с.

Изменение вибрационной безопасности промышленных объектов в условиях реконструкции внешней среды

Графкина М.В., Ангелова М.В.
МГТУ «МАМИ»

Развитие крупных мегаполисов невозможно без соответствующего развития автотранспортных коммуникаций, призванных обеспечивать как пассажирские, так и грузовые перевозки. Реконструкция транспортных магистралей городской среды приводит к серьезным изменениям физических и геохимических свойств и процессов в геосферах и геоэкологической безопасности уже сложившихся природно-технических систем (ПТС).

Заданные уровни надежности и безопасности ПТС закладываются на этапе разработки этих систем, но фактический уровень безопасности, его анализ и оценка возможны только при реализации жизненного уровня технических объектов. Изменяющиеся под воздействием роста интенсивности транспортного движения внешние факторы (уровни электромагнитного излучения, вибрации и шума, повышение содержания химически активных примесей в атмосферном воздухе) оказывают влияние как на показатели технического уровня надежности технических объектов и показатели геоэкологической безопасности ПТС в целом, так и на

122 Известия МГТУ «МАМИ» № 2(6), 2008.