

DOI: 10.12737/22246

Бойко А.Ф., д-р техн. наук, доц.,
Лойко А.М., аспирант,
Шестаков А.И., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЕСТЕСТВЕННОЙ ЭВАКУАЦИИ ПРОДУКТОВ ОБРАБОТКИ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ПРОШИВКЕ МИКРООТВЕРСТИЙ

lam.bel@mail.ru

В статье изложены результаты исследований процесса естественной эвакуации продуктов обработки из межэлектродного промежутка при электроэрозионной прошивке микроотверстий. Исследованиями установлено, что в основе процесса естественной эвакуации продуктов эрозии из межэлектродного промежутка лежат обусловленные электрическим разрядом два встречно-параллельных потока: восходящий эвакуирующий, насыщенный парогазовыми пузырями, и нисходящий поток обновления, являющийся следствием первого потока. В результате исследований были получены математические модели, показывающие, что интенсивность самоэвакуации повышается с увеличением насыщенности эвакуирующего потока пузырями.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, микроотверстия, продукты эрозии, эвакуирующий поток, самоэвакуация.

Введение. Производительность процесса электроэрозионной прошивки микроотверстий при неизменных условиях обработки напрямую зависит от интенсивности эвакуации продуктов эрозии из межэлектродного промежутка. Интенсивность эвакуации твердых, жидких и газообразных продуктов эрозии, в свою очередь, определяется движением рабочей жидкости в рабочей зоне и связанным с ним процессом обновления ее состава. Так как при прошивке микроотверстий организовать прокачку рабочей жидкости через промежуток невозможно, то эвакуация осуществляется естественным путем, в основе которого лежит электрический разряд. После каждого разряда образуется газовый пузырь, кроме того, при локальном нагреве поверхности электрода и гашении в жидкости горячих частиц факелов образуются паровые пузырьки. При прошивке микроотверстий после электрического разряда по торцу проволочного инструмента парогазовые пузыри практически сразу попадают в вертикальный боковой межэлектродный зазор, где поднимаются вверх подъемной архимедовой силой. При этом движущиеся вверх парогазовые пузырьки увлекают с собой рабочую жидкость и продукты эрозии, создавая поток. Так как твердые продукты в исследуемом процессе представляют собой микрочастицы размером от нескольких микрометров до нескольких нанометров, то в основе механизма их вывода из промежутка лежит флотационный способ, когда микрочастицы захватываются стенкой газового пузыря [1, 2].

Механизм эвакуации продуктов эрозии газогидродинамическим потоком рассматривается во многих работах [3–9]. Однако четкого меха-

низма взаимодействия процессов эвакуации продуктов эрозии и обновления рабочей жидкости в межэлектродном промежутке в условиях естественной эвакуации не дается.

Методология. Эксперимент был выполнен на электроэрозионном станке 04ЭП-10М. При проведении эксперимента в качестве обрабатываемого материала использовалась хромоникелевая сталь 12Х18Н10Т, в качестве электрода инструмента – вольфрамовая проволока.

Основная часть. При наблюдении за процессом электроэрозионной прошивки микроотверстий можно заметить, что парогазовые пузырьки за время цикла обработки одного отверстия выходят в одном и том же месте кольцевого бокового зазора. При проведении анализа этого явления были установлены два возможных базовых варианта условий, определяющих место выхода пузырьков из рабочей зоны (рис. 1).

В варианте «а» электрод-инструмент установлен с перекосом относительно направления его подачи S . В этом случае отверстие получается овальным, а с одной стороны его образуется клиновидный карман K , через который удаляются пузырьки. Именно этот путь их движения является наименее энергозатратным. В варианте «б» ось электрода инструмента параллельна направлению подачи S , но имеется наклон оси прошивочной головки относительно горизонтальной плоскости. В этом случае наименее энергозатратным является путь движения пузырьков, указанный на рис. 1, б. Оба варианта были исследованы экспериментально. Установлено, что на практике при самоорганизации движения пузырьков в кольцевом боковом зазоре встречаются оба варианта в комплексе, так как идеальных

положений осей электрода-инструмента и прошивочной головки не бывает.

При исследовании процесса естественной эвакуации продуктов эрозии было установлено,

что физической основой механизма эвакуации является наличие в межэлектродном промежутке двух основных встречно-параллельных вертикальных потоков *A* и *B* (рис. 2).

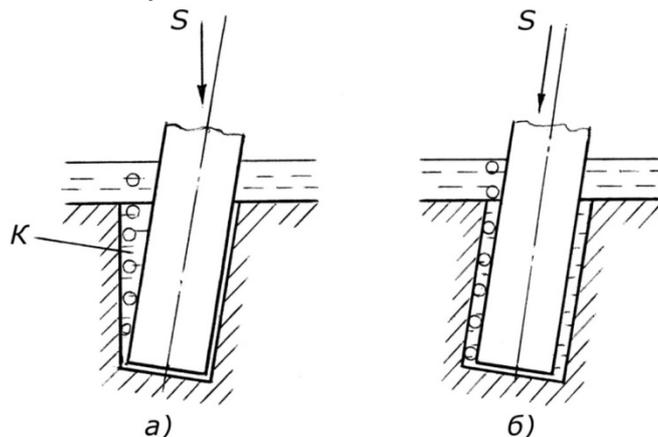


Рис. 1. Схемы вариантов условий, определяющих место выхода пузырьков из рабочей зоны

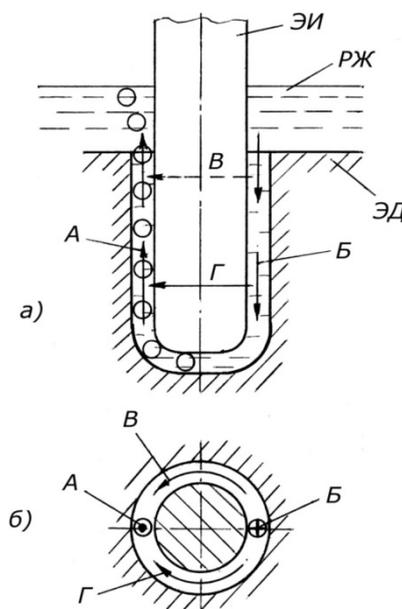


Рис. 2. Схема газо-гидродинамических потоков в межэлектродном промежутке при электроэрозионной прошивке микроотверстий: а – вертикальный осевой разрез рабочей зоны; б – поперечный разрез; ЭИ – электрод-инструмент; РЖ – рабочая жидкость; ЭД – электрод-деталь

Поток *A* – эвакуирующий поток движущихся вверх пузырьков, влекомой ими жидкости и продуктов эрозии. Генератором этого потока является электрический разряд, порождающий парогазовые пузырьки, которые затем поднимаются вверх архимедовой силой, увлекая жидкость и унося с собой флотационным способом налиплие к пузырькам микрочастицы. Поток *B* является следствием потока *A*, так как последний при движении создает эффект эжекции в прилегающих зонах, и через поперечные кольцевые потоки *B* и *Г* в диаметрально противоположной части бокового кольцевого зазора создается разрежение, которое и вызывает засасыва-

ние жидкости с верхних слоев над отверстием в боковой зазор. Так как, эффект эжекции присутствует на всей глубине обрабатываемого отверстия, то в правой части бокового зазора формируется вертикальный ниспадающий поток *B*, представляющий собой поток обновления рабочей жидкости в межэлектродном промежутке. Исходя из принципа неразрывности этих двух взаимосвязанных потоков, а так же учитывая тот факт, что изначально, с момента зарождения эвакуационного потока *A* в зоне разряда в него эжектируются пузырьки, среднеинтегральная плотность потоков будет различна: поток *A* с пузырьками, поток *B* – без пузырьков. Есте-

ственно будут различны и их скорости. Тогда, с учетом равенства гидростатического давления и неразрывности обоих потоков, уравнение Бернулли [10] будет иметь вид:

$$P_3 + \frac{1}{2}\rho_3 \cdot v_3^2 = P_{06} + \frac{1}{2}\rho_{06} \cdot v_{06}^2, \quad (1)$$

где P_3 и P_{06} – статические давления соответственно эвакуационного и обновляющего потоков; ρ_3 и ρ_{06} – плотности потоков; v_3 и v_{06} – скорости потоков.

Таким образом, при прохождении потока обновления B через рабочую зону из-за появления пузырьков в месте разряда скачком увеличивается общий объем потока. При этом он превращается из гидравлического потока обновления в парогидравлический эвакуирующий поток A . Также скачком изменяется мгновенное значение объемного расхода потока: $V_3 > V_{06}$ или $m_3/\rho_3 > m_{06}/\rho_{06}$, где $m_3 = m_{06}$ – мгновенные значения массовых расходов потоков (общая масса m_3 , состоящая из жидкой и парогидравлической фазы, остается равной m_{06} , состоящей только из жидкой фазы). Тогда очевидно $\rho_3 \ll \rho_{06}$. Чтобы не нарушать непрерывности и стационарности двух потоков с различными объемными расходами, очевидно должно быть $v_3 \gg v_{06}$. Тогда из (1) получаем:

$$P_{06} - P_3 = \Delta P = \frac{1}{2}(\rho_3 \cdot v_3^2 - \rho_{06} \cdot v_{06}^2), \quad (2)$$

Разность ΔP статических давлений в потоках A и B обуславливает поперечные кольцевые потоки B и Γ и, следовательно, постоянное поддержание разряжения в зоне потока B и, следовательно, самого потока обновления рабочей жидкости.

Из (2) видно, что эффективность эжекции выше с увеличением значения выражения, заключенного в скобки и представляющего собой разность динамических давлений в потоках. Обозначим отношение мгновенных значений объемных расходов в потоках через коэффициент k :

$$k = \frac{V_3}{V_{06}} = \frac{m_3/\rho_3}{m_{06}/\rho_{06}} = \frac{\rho_{06}}{\rho_3}, \quad (3)$$

Видно, что коэффициент k характеризует степень насыщенности эвакуирующего потока пузырьками. С другой стороны

$$V_3 = v_3 \cdot F_3; V_{06} = v_{06} \cdot F_{06}, \quad (4)$$

где $F_3 \approx F_{06}$ – площади поперечных сечений потоков. Тогда

$$\frac{V_3}{V_{06}} = \frac{v_3}{v_{06}} = k. \quad (5)$$

Заменим в (2) $\rho_3 = \rho_{06}/k$ и $v_3 = k \cdot v_{06}$, получим:

$$\Delta P = \frac{1}{2}\rho_{06} \cdot v_{06}^2 \cdot (k - 1). \quad (6)$$

Видно, что эффект эжекции тем выше, чем больше коэффициент k , т.е., чем меньше среднеинтегральная плотность эвакуирующего пото-

ка и чем больше его насыщенность парогидравлическими пузырьками. А этот показатель зависит от состава и свойств рабочей жидкости, а также от параметров импульсов тока.

Выводы:

Таким образом, в основе физики процесса естественной эвакуации продуктов эрозии из промежутка лежат обусловленные электрическим разрядом два встречно-параллельных вертикальных потока: парогидравлический, эвакуирующий поток, генерированный поднимаящимися за счёт архимедовой силы пузырьками, и поток обновления, являющийся следствием первого потока, диаметрально расположенный по отношению к нему и находящийся в зоне разряжения относительно наружных слоёв рабочей жидкости. Оба потока существенно отличаются мгновенными значениями объемного расхода, что и предопределяет различие в скоростях потоков и возникновение эффекта эжекции и второго потока – потока обновления. Эффективность и интенсивность самоэвакуации повышается с увеличением насыщенности эвакуирующего потока парогидравлическими пузырьками, что следует учитывать при выборе рабочей жидкости и режимов обработки.

Разработанная новая теория механизма естественной эвакуации продуктов эрозии и обновления рабочей жидкости в промежутке нашла качественное подтверждение в эксперименте с увеличенной натурной моделью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотационные методы обогащения: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1981. 436 с.
2. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотация. М.: Недра, 1973. 365 с.
3. Артамонов Б.А. и др. Размерная электрическая обработка металлов. М.: Высшая школа, 1978. 336 с.
4. Золотых Б.Н., Любченко Б.М. Инженерные методы расчета технологических параметров электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1981. 86 с.
5. Золотых Б.Н., Мельдер Р.Р. Физические основы электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1977. 44 с.
6. Лившиц А.Л., Рош А. Электроэрозионная обработка. М.: НИИмаш, 1980. 224 с.
7. Немилев Е.Ф. Электроэрозионная обработка металлов. Л.: Машиностроение, 1989. 160 с.
8. Погонин А.А., Бойко А.Ф., Домашенко Б.В., Схиртладзе А.Г. Совершенствование технологии процесса электроэрозионной обработки

микроотверстий // Электрика. 2010. №9. С. 19–21.

9. Фатеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1980.

184 с.

10. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М.: Академия, 2007. 719 с.

Boyko A.F., Loyko A.M., Shestakov A.I.

FEATURES OF PROCESS OF NATURAL EVACUATION OF PRODUCTS OF EROSION IN CASE OF ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING OF MICROOPENINGS

Results of researches of process of natural evacuation of products of an erosion of an interelectrode interval in case of an electrical discharge machining of microopenings are published in article. By researches it is established that two flows are the cornerstone of process of natural evacuation of products of an erosion of an interelectrode interval: the ascending evacuating flow saturated with steam-gas bubbles, and the descending updating flow being a consequence of the first flow. As a result of researches the mathematical models showing that intensity of self-evacuation increases with increase in a saturation of the evacuating flow bubbles were received.

Key words: *electrical discharge machining, microopenings, erosion products, evacuating flow, self-evacuation.*

Бойко Анатолий Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лойко Алексей Михайлович, аспирант кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: lam.bel@mail.ru

Шестаков Алексей Игоревич, аспирант кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.