

ПРОШИВКА ОТВЕРСТИЙ И СНЯТИЕ ЗАУСЕНЦЕВ МЕТАЛЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ, ГОРЯЩИМ МЕЖДУ СТРУЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТА И ТВЕРДЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

© 2015

Ю.И. Шакиров, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Электроэнергетика и электротехника»

Р.И. Валиев, старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика и электротехника»

А.А. Хафизов, старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика и электротехника»

А.Н. Суцикова, старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика и электротехника»

И.М. Нуриев, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика и электротехника»
Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) Федерального университета, Набережные Челны (Россия)

Ключевые слова: прошивка отверстий; снятие заусенцев; плазма; маркировка деталей.

Аннотация: Существуют разные методы прошивки отверстий. Авторами предлагается процесс прошивки металлов с помощью электрического разряда, горящего между струей электролита и твердым электродом – обрабатываемой деталью. Электрическим разрядом между жидким электродом и обрабатываемой деталью можно прошить отверстие, также можно использовать для удаления заусенцев, очистки поверхности, резки металлов и маркировки деталей. Для исследования вольт-амперной характеристики, зависимости разрядного тока от расхода электролита, зависимости плотности тока между струей электролита нами был разработан ручной переносной инструмент типа «пистолет». Исследования показали, что разряд между струей электролита и обрабатываемой деталью загорается и горит при $U=510-515$ В. Когда разряд переходит в режим электролиза, ток резко увеличивается в 1,5–2 раза. С увеличением расхода электролита ток разряда возрастает. Исследования зависимости плотности тока разряда, горящего между струей электролита и металлическим анодом от разрядного тока, показали, что с ростом тока плотность тока на жидком электроде растет линейно. На основе анализа и обобщения большого количества экспериментальных данных электрический разряд можно использовать для технологических целей. С помощью плазмы разряда со струей электролита можно производить операции очистки внутренних поверхностей трубок, осуществлять прошивку отверстий в металле, резку металла, снятие заусенцев с кромок деталей, выполнять операции маркировки изделий без изменения свойств остальной массы детали.

ВВЕДЕНИЕ

Существуют разные методы прошивки отверстий, известные как электрохимическая обработка, лазерная прошивка [1–6].

Одно из первых применений лазера в технологии было связано с прошивкой отверстий. Лазер оказывается эффективным для изготовления небольших отверстий в соплах, форсунках, фильерах, специальных диафрагмах и мембранах. Для этих целей используются, как правило, импульсные лазеры. Также объектами применения этой технологии являются: сита, ушки игл, фильтры, ювелирные изделия (подвески, четки, камни).

В режиме электрохимической обработки (ЭХО) из-за резкого увеличения плотности тока электролит быстро нагревается, время обработки также увеличивается, а потребляемая от сети мощность резко растет.

Кроме того, при ЭХО необходимо обеспечить полное или частичное исключение побочных химических реакций; обеспечить анодное растворение металла только в зоне обработки, т. е. обеспечить наличие высоких локализирующих свойств; обеспечить протекание на всех участках обрабатываемых поверхностей заготовки электрического тока расчетного значения и т. д. Естественно, электролитов такого универсального назначения не существует. Поэтому приходится применять компромиссное решение в зависимости от используемой операции ЭХО, природы материала и т. д.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ

Электрическим разрядом между жидким электродом и обрабатываемой деталью [7–13] можно прошить от-

верстие, также можно горячей струей электролита использовать для удаления заусенцев с кромок изделия, очистки внутренних поверхностей деталей (трубок), резки металла и маркировки деталей [14–24]. Структурная схема процесса представлена на рис. 1, 2. Струя электролита 3 (рис. 1) под давлением $P_3=3 \cdot 10^3-2 \cdot 10^4$ Па подается через сопло 1 с внутренним диаметром d на обрабатываемый участок детали 2. Для исключения короткого замыкания сопло закрыто диэлектрическим наконечником.

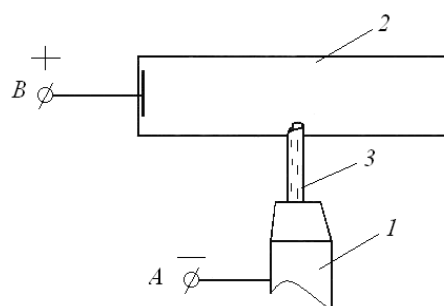


Рис. 1. Схема работы со струей электролита: односторонняя прошивка отверстий, резка или снятие заусенцев;

Для исследования вольт-амперной характеристики, зависимости разрядного тока от расхода электролита, зависимости плотности тока между струей электролита нами был разработан ручной переносной инструмент

типа «пистолет». На рис. 3 приведен эскиз полупромышленного инструмента типа «пистолет» в разрезе. Через штуцер 10 электролит подается на клапанное устройство, состоящее из цилиндра 5, клапана 6, пружины 2 и регулировочного винта 1. Курок 7 служит для включения и выключения подачи электролита и микровыключателя 8, управляющего питающим напряжением. Ограничитель 12 позволяет устанавливать расстояние между диэлектрическим соплом и обрабатываемой деталью. Диэлектрическое сопло 13 предохраняет от короткого замыкания и помогает регулировать расход электролита.

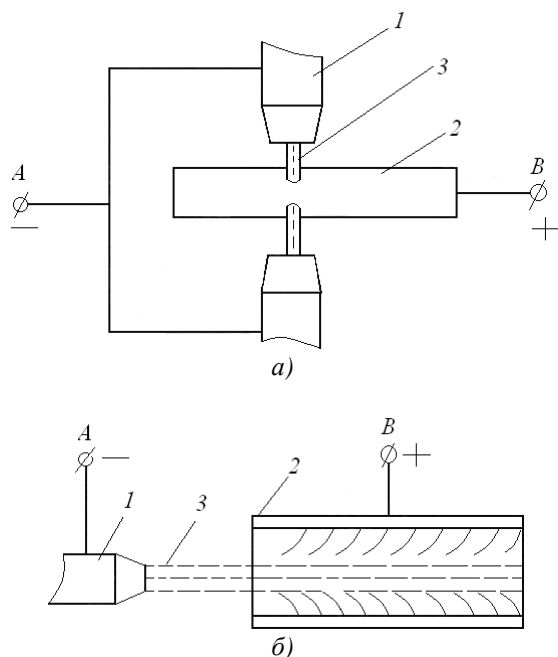


Рис. 2. Схемы работы со струей электролита:
а) двухсторонняя прошивка отверстий, резка, снятие заусенцев;
б) очистка внутренней поверхности трубок

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) разряда между струей электролита и обрабатываемой деталью (рис. 4) позволяет сделать заключение, что разряд зажигается и горит при напряжении 510–515 В. ВАХ разряда является слегка падающей. В момент перехода разряда в режим электролиза ток резко увеличивается в 1,5–2 раза. С увеличением расхода электролита G до значений G_{max} ток разряда возрастает. На рис. 5 приведены зависимости разрядного тока для различных длин струи электролита от расхода жидкости G . При расходах электролита G_{min} и G_{max} наблюдается неустойчивость горения разряда, связанная с нестабильностью выделения тепла в струе электролита и в разрядном промежутке. Дальнейшее увеличение расхода электролита G приводит к гашению разряда. При увеличении тока в 2–2,5 раза разряд не горит. Идет интенсивное тепловыделение, и осуществляется процесс электролиза. Рост тока связан с уменьшением сопротивления струи разряда, вызванным увеличением числа носителей заряда. Потому что в экспериментах расход G уве-

личивался за счет увеличения скорости течения электролита при неизменном диаметре струи. Изменение диаметра сопла и длины струи на характер зависимостей ВАХ не влияет. Разрядный ток в исследованном диапазоне параметров растет от длины струи и расхода электролита. С ростом длины струи плотность тока растет линейно.

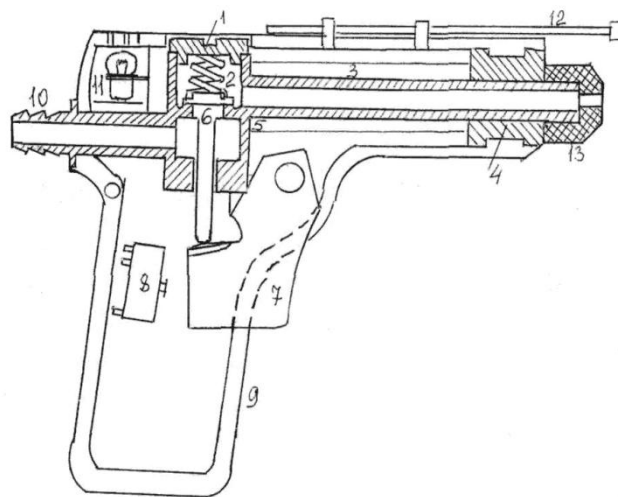


Рис. 3. Эскиз ручного переносного инструмента типа «пистолет»:

- 1 – регулировочный винт; 2 – пружина; 3 – трубка;
4 – держатель сопла; 5 – цилиндр; 6 – клапан;
7 – курок; 8 – микровыключатель; 9 – рукоятка;
10 – штуцер; 11 – лампочка (индикатор);
12 – ограничитель; 13 – диэлектрическое сопло

На основе анализа и обобщения большого количества экспериментальных данных изучения электрического разряда в газе между твердым анодом и струей жидкости (катод) установлено, что горит многоканальный разряд, характеризующийся следующими параметрами: цвет разряда зависит от природы и концентрации электролита, величины разрядного тока и незначительно зависит от материала твердого электрода; разряд состоит из множества микроразрядов; разряд на поверхности жидкого катода-струи опирается на подвижные точечные пятна, рост тока приводит к увеличению числа микроканалов; устойчивость горения разряда существенно зависит от расхода электролита и диаметра струи жидкости; происходит интенсивный локальный плазменно-электролитный нагрев и эрозия поверхности твердого электрода; нагрев электролитного катода сильно влияет на разряд.

Исследования зависимости плотности тока разряда, горящего между струей электролита (катод) и металлическим анодом, от разрядного тока (рис. 6) показали, что с ростом тока плотность тока на жидком электроде растет линейно.

Проведенные исследования показали, что электрический разряд, горящий между струей электролита и обрабатываемой деталью, можно успешно использовать для технологических целей. С помощью плазмы разряда со струей электролита можно очищать внутренние поверхности трубок, осуществлять прошивку

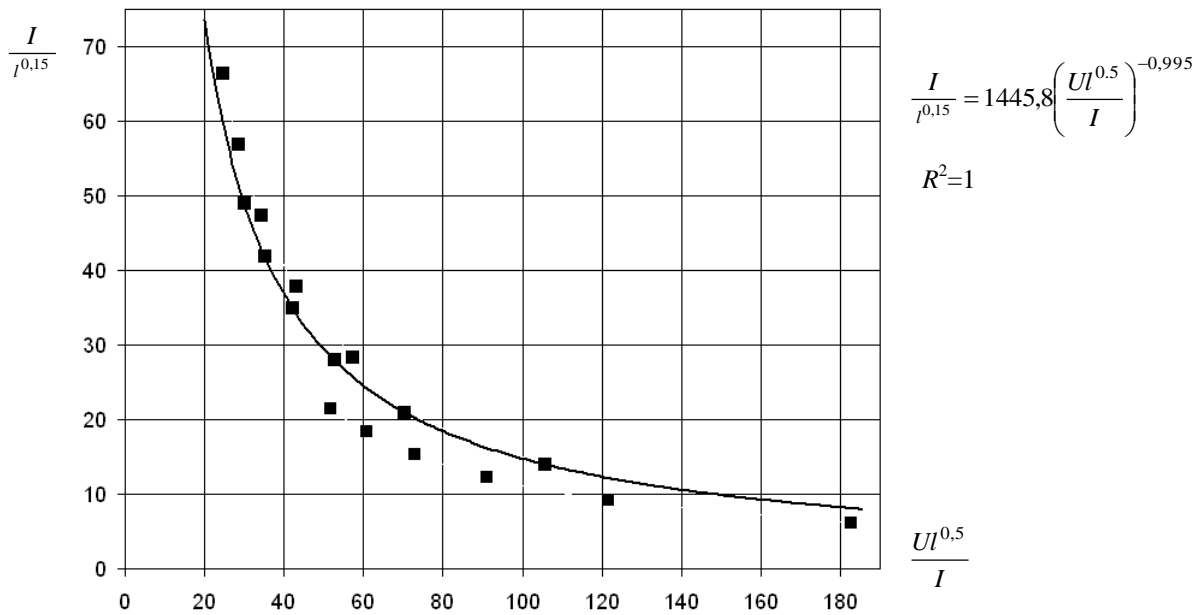


Рис. 4. Обобщенная вольт-амперная характеристика разряда между струей электролита и металлическим электродом

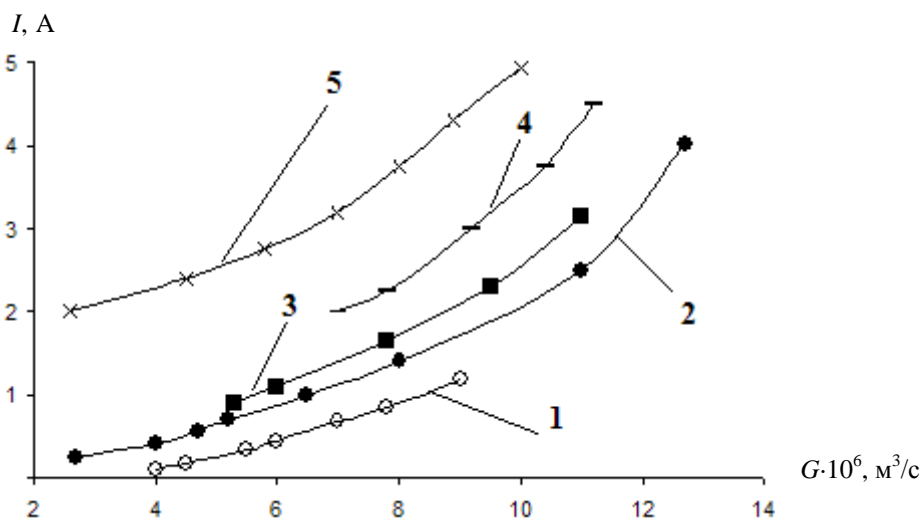


Рис. 5. Зависимость разрядного тока от расхода электролита при атмосферном давлении и различных значениях l :

1 – катод – техническая вода, $l=0,018$ м; 2 – катод – 10 %-ный раствор NaCl, $l=0,01$ м;
 3 – катод – 10 %-ный раствор NaCl, $l=0,014$ м; 4 – катод – 10 %-ный раствор NaCl, $l=0,022$ м;
 5 – анод – 10 %-ный раствор $CuSO_4$, $l=0,03$ м

отверстий в металле, резку металла, снятие заусенцев с кромок деталей, выполнять операции маркировки изделий без изменения свойств остальной массы детали.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В предлагаемом процессе, используя плотности тока $j_c=10-30$ А/см², увеличивая время обработки T , можно прошивать отверстия в различных материалах. В таблице 1 приведены некоторые результаты процесса прошивки отверстий в металлах разрядом с жидким катодом из 10 %-го раствора NaCl.

Увеличение плотности тока, т. е. разрядного тока, при неизменном диаметре d наконечника уменьшает длитель-

ность процесса прошивки отверстия. Однако этим путем можно сократить время только до некоторой величины, ибо при дальнейшем росте тока разряд гаснет, и процесс обработки переходит в режим электрохимической обработки (ЭХО) – режим электролиза.

В предлагаемом способе электротермическое воздействие на материал заготовки осуществляет плазма разряда, горящего между струей электролита и заготовкой. Роль электролита сводится в основном к подводу тока и удалению продуктов обработки, определению размера зоны воздействия инструмента – плазмы разряда. При снятии заусенцев высотой до $16 \cdot 10^{-5}$ м разрядом со струей электролита из 20 %-го раствора NaCl

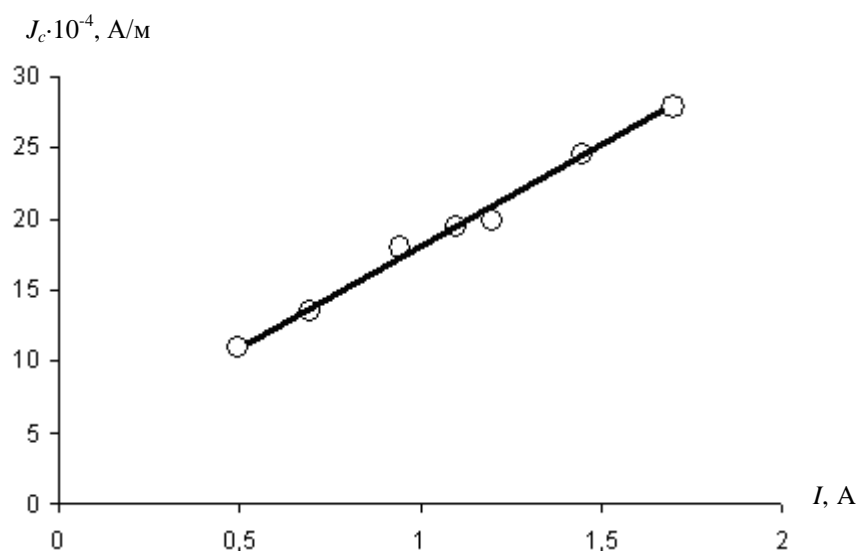


Рис. 6. Зависимость плотности разряда тока между струей электролита и катодом (10 %-й водный раствор NaCl) от величины тока, диаметр струи $d=0,003$ м

Таблица 1. Результаты процесса прошивки отверстий в металлах разрядом с жидким катодом из 10 %-го раствора NaCl

Материал детали	Средний диаметр отверстий, мм	Толщина детали, мм	Ток разряда, А	Время обработки, мин
Медь М1	0,8	1	1,5	1,5
Медь М1	1,8	5	2	7
Сталь 40Х	2,9	4	1,5	15
Титан 48Т2	3	4	2	12,5
Титан 48 Т2	2	50	1,5	20

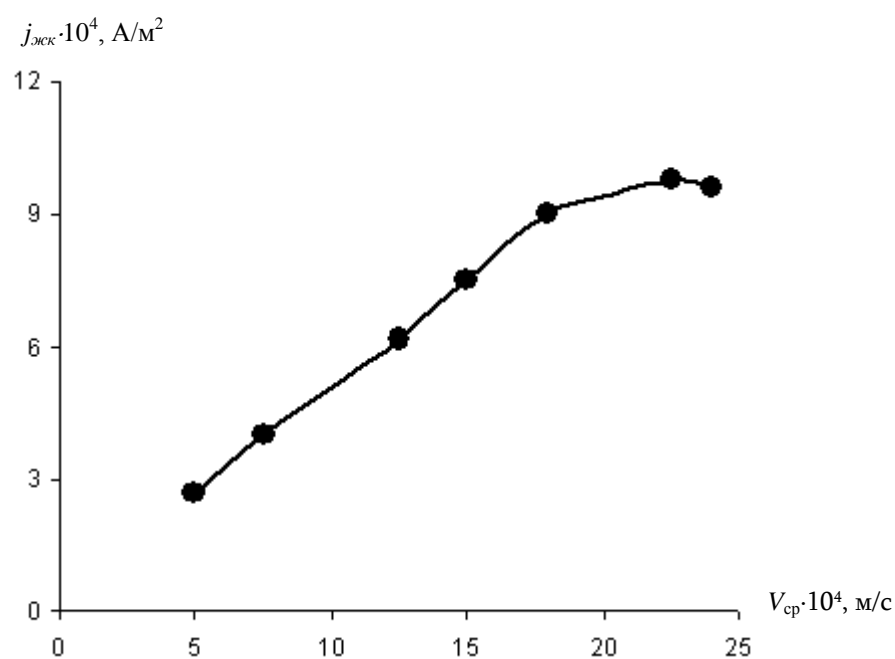


Рис. 7. Зависимость скорости снятия заусенцев от плотности тока на струи электролита при $P=10^5$ Па. Материал – медь марки М1. Струя – катод, 20 %-ный водный раствор NaCl

можно обеспечить скорость снятия заусенцев до 0,01 м/мин. Качество очистки поверхности в значительной мере зависит от величины межэлектродного расстояния – длины струи. Оптимальная длина струи электролита $l=0,005-0,008$ м. Увеличение ее снижает устойчивость разряда, уменьшение вызывает короткое замыкание, сопровождается локальным оплавлением поверхности металла.

Использование плазмы электрического разряда, горящего между струей электролита и заготовкой, позволяет успешно очищать внутренние поверхности трубок (рис. 2 б).

На рис. 7 приведена зависимость скорости снятия заусенцев с кромок медных образцов от плотности тока на струе электролита – катоде. Первоначальная высота заусенцев была до $R_z=32 \cdot 10^{-5}$ м. После обработки плазмой уменьшилась до $1,6 \cdot 10^{-6}$ м. Уменьшение скорости перемещения струи при обработке позволяет улучшать шероховатость поверхности еще на 1-2 класса по ГОСТу 2789-73.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вышеизложенное позволяет сделать заключение, что электрический разряд между жидким электролитом и обрабатываемой деталью может найти свою нишу в технологической цепочке обработки металлических заготовок в современном производстве в операциях фигурной резки твердых и вязких материалов, прошивки отверстий, маркировки деталей, ручной и автоматизированной локальной чистки кромок деталей от заусенцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Немилов Е.Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов. Л.: Машиностроение, 1989. 164 с.
- Применения лазеров / под ред. В.П. Тычинского. М.: Мир, 1974. 445 с.
- Вишницкий А.Л., Ясногородский И.З., Григорчук И.П. Электрохимическая и электромеханическая обработка металлов. Л.: Машиностроение, 1971. 211 с.
- Байсупов И.А. Электрохимическая обработка металлов. 2-е изд. М.: Высш. шк., 1988. 184 с.
- Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.
- Левинсон Е.М. Электроэрозионная обработка металлов. Л.: Лениздат, 1964. 184 с.
- Лазаренко Б.Р., Фурсов С.П., Факторович А.А. Коммутация тока на границе металл–электролит. Кишинев: АН МССР, 1971. 74 с.
- Лазаренко Б.Р., Дурадзи В.Н., Факторович А.А. Вольтамперные характеристики электрического разряда между металлическим и электролитным электродами // Электронная обработка материалов. 1972. № 3. С. 29–33.
- Hickling A. Electrochemical process in glow discharge at the gas–solution interface // Modern aspects of electrochemistry. Vol. 6. London: Butterworth, 1971. P. 329–373.
- Klemene A. New use of electrical energy for chemical processes (glow discharge electrolysis) // Chimia (Schweiz). 1952. Vol. 6. № 3. P. 177–180.

- Sternberg Z.W. High current glow discharge with electrolyte as cathode // Gas discharges: International conference. London: Inst. Elect. Eng., 1970. P. 68–71.
- Onaka H., Takamatsu T. Discharge with a cathode of electrolyte solution // Hiroshima Daigaku Kogakubu. Kenkyu Hokoku. 1968. Vol. 16. № 2. P. 247–254.
- Гайсин Ф.М., Сон Э.Е. Электрофизические процессы в разрядах с твердыми и жидкими электродами. Свердловск: Изд-во Уральского ун-та, 1989. 432 с.
- Иванов И.С. Технология машиностроения. М.: ИНФРА-М, 2009. 192 с.
- Адаскин А.М., Зуев В.М. Материаловедение и технология материалов. М.: Форум, 2010. 336 с.
- Поляков О.В. Физико-химические процессы в водных растворах, инициируемые анодными микроразрядами : дис. ... канд. хим. наук. Кемерово, 1989. 201 с.
- Шакиров Ю.И., Валиев Р.И., Хафизов А.А., Шакирова Г.Ю. Многоканальная плазменная установка для обработки материалов // Автомобильная промышленность. 2011. № 2. С. 36–38.
- Garbarz-Olivier J. Interpretation de l'effect de cathode dans les solutions aqueuses de quelques electrolytes // Acad. Sc. Paris. 1972. P. 1359–1362.
- Валиев Р.И., Нуриев И.М., Хафизов А.А., Шакиров Ю.И. Очистка и снятия заусенцев в электрическом разряде парогазовой среде с поверхности деталей после механической обработки. Инженерия верхнего слоя. Познань: КМО ПАН, 2014. 115 с.
- Valiev R.I., Shakirov B.Yu., Shakirov Yu.I. Cleaning of a surface of details in plasma of the volume category between solid and liquid electrodes // Innovative Mechanical Engineering Technologies, Equipment and Materials–2013. IOP Publishing, 2014. doi: 10.1088/1757-899X/69/1/012043.
- Валиев Р.И., Шакиров Ю.И., Хафизов А.А., Шакирова Г.Ю. Снятие заусенцев после механической обработки с деталей в электрическом разряде с жидким катодом // Образование и наука – производству: сб. трудов междунар. науч.-техн. и образоват. конф. Набережные Челны: ИНЭКА, 2010. С. 192–195.
- Смирнов Н.С., Простаков М.Е. Очистка поверхности стали. М.: Металлургия, 1978. 230 с.
- Лакомский В.И., Арсеньев В.А., Морозов А.П. Электроразрядная очистка катанки // Теплотехнические вопросы применения вопросы низкотемпературной плазмы в металлургии. Свердловск: УПИ, 1985. С. 102–108.
- Любомудров С.А., Смирнов А.А., Тарасов С.Б. Метрология, стандартизация и сертификация: нормирование точности. М.: Инфра-М, 2012. 206 с.

REFERENCES

- Nemilov E.F. *Spravochnik po elektroerozionnoj obrabotke materialov* [Reference book on electric erosion machining of materials]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1989, 164 p.
- Tychinsky V.P., ed. *Primeneniya lazerov* [Application of lasers]. Moscow, Mir Publ., 1974, 445 p.
- Vishnitsky A.L., Yasnogorodsky I.Z., Grigorochuk I.P. *Elektrokhimicheskaya i elektromekhanicheskaya obrabotka metallov* [Electrochemical and electromechanical processing of metals]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1971, 211 p.

- chanical machining of materials]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1971, 211 p.
4. Baysupov I.A. *Elektrokhimicheskaya obrabotka metallov* [Electrochemical machining of metals]. 2nd ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1988, 184 p.
 5. Rykalin N.N., Uglov A.A., Zuev I.V., Kokora A.N. *Lazernaya i elektronno-luchevaya obrabotka materialov* [Laser and electron-beam machining of materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 496 p.
 6. Levinson E.M. *Elektroerozionnaya obrabotka metallov* [Electric erosion machining of metals]. Leningrad, Lenizdat Publ., 1964, 184 p.
 7. Lazarenko B.R., Fursov S.P., Faktorovich A.A. *Kommutatsiya toka na granitse metall–elektrolit* [Current transfer on the metal-electrolyte borderline]. Kishinev, AN MSSR Publ., 1971, 74 p.
 8. Lazarenko B.R., Duradzi V.N., Faktorovich A.A. Current-voltage characteristics of electric discharge between metal and electrolyte electrodes. *Elektronnaya obrabotka materialov*, 1972, no. 3, pp. 29–33.
 9. Hickling A. Electrochemical process in glow discharge at the gas–solution interface. *Modern aspects of electrochemistry*. Vol. 6. London, Butterworth, 1971, pp. 329–373.
 10. Klemene A. New use of electrical energy for chemical processes (glow discharge electrolysis). *Chimia (Schweiz)*, 1952, vol. 6, no. 3, pp. 177–180.
 11. Sternberg Z.W. High current glow discharge with electrolyte as cathode. *Gas discharges: International conference*. London, Inst. Elect. Eng., 1970, pp. 68–71.
 12. Onaka H., Takamatsu T. Discharge with a cathode of electrolyte solution. *Hiroshima Daigaku Kogakubu. Kenkyu Hokoku*, 1968, vol. 16, no. 2, pp. 247–254.
 13. Gaysin F.M., Son E.E. *Elektrofizicheskie protsessy v razryadakh s tverdymi i zhidkimi elektrodami* [Electro-physical processes in discharges with solid and electrolytic electrodes]. Sverdlovsk, Uralsky universitet Publ., 1989, 432 p.
 14. Ivanov I.S. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Manufacturing engineering]. Moscow, INFRA-M Publ., 2009, 192 p.
 15. Adaskin A.M., Zuev V.M. *Materialovedenie i tekhnologiya materialov* [Materials science and materials technology]. Moscow, Forum Publ., 2010, 336 p.
 16. Polyakov O.V. *Fiziko-khimicheskie protsessy v vodnykh rastvorakh, initsiiiruemye anodnymi mikrorazryadami*. Diss. kand. khim. nauk [Physico-chemical processes in anode microdischarges-initiated aqua solutions]. Kemerovo, 1989, 201 p.
 17. Shakirov Y.I., Valiev R.I., Hafizov A.A., Shakirova Y.G. Multi-channel plasma apparatus for processing of materials. *Avtomobilnaya promyshlennost*, 2011, no. 2, pp. 36–38.
 18. Garbarz-Olivier J. Interpretation de l'effet de cathode dans les solutions aqueuses de quelques electrolytes. *Acad. Sc. Paris*, 1972, pp. 1359–1362.
 19. Valiev R.I., Nuriev I.M., Khafizov A.A., Shakirov Yu.I. *Ochistka i snyatiya zausentsev v elektricheskom razryade parogazovoy srede s poverkhnosti detaley posle mekhanicheskoy obrabotki. Inzheneriya verkhnego sloya* [Cleaning and deburring of parts surface in electrical discharge of vapour-gas medium after mechanical processing. Uppermost layer engineering]. Poznan', KMO PAN Publ., 2014, 115 p.
 20. Valiev R.I., Shakirov B.Yu., Shakirov Yu.I. Cleaning of a surface of details in plasma of the volume category between solid and liquid electrodes. *Innovative Mechanical Engineering Technologies, Equipment and Materials–2013*. IOP Publishing, 2014. doi: 10.1088/1757-899X/69/1/012043.
 21. Valiev R.I., Shakirov Yu.I., Khafizov A.A., Shakirova G.Yu. Deburring of parts in electrical discharge with liquid cathode after mechanical processing. *Sbornik trudov mezhdunar. nauch.-tekhn. i obrazovat. konf. "Obrazovanie i nauka – proizvodstvu"*. Naberezhnie Chelny, INEKA Publ., 2010, pp. 192–195.
 22. Smirnov N.S., Prostakov M.E. *Ochistka poverkhnosti stali* [Steel surface cleaning]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978, 230 p.
 23. Lakomsky V.I., Arsenyev V.A., Morozov A.P. Electrodischarge cleaning of rolled wire. *Teplotekhnicheskie voprosy primeneniya nizkotemperaturnoy plazmy v metallurgii*. Sverdlovsk, UPI Publ., 1985, pp. 102–108.
 24. Lyubomudrov S.A., Smirnov A.A., Tarasov S.B. *Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya: normirovanie tochnosti* [Metrology, standardization and certification: accuracy norms setting]. Moscow, Infra-M Publ., 2012, 206 p.

PIERCING AND DEBURRING OF METAL PARTS USING ELECTRIC DISCHARGE BETWEEN ELECTROLYTE JET AND SOLID ELECTRODE

© 2015

Yu.I. Shakirov, PhD (Engineering), Associate Professor, Head of Chair “Power and electrical engineering”

R.I. Valiev, senior lecturer of Chair “Power and electrical engineering”

A.A. Khafizov, senior lecturer of Chair “Power and electrical engineering”

A.N. Sushchikova, senior lecturer of Chair “Power and electrical engineering”

I.M. Nuriev, PhD (Engineering), assistant professor of Chair “Power and electrical engineering”

Naberezhnye Chelny Institute, Branch of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny (Russia)

Keywords: piercing; deburring; plasma; parts marking.

Abstract: There are various methods of piercing. The authors suggest using the process of metal piercing with the help of electric discharge between the electrolyte jet and the solid electrode, or the processed part. The electric discharge between the electrolytic electrode and the processed part can be used both for piercing and for deburring, surface cleaning, metal cutting, and parts marking. To investigate the current-voltage characteristic, the dependence of discharge current on volume electrolyte velocity, and the dependence of current density between the electrolyte jet, the authors developed the portable hand-held tool of “gun” type. The study showed that the discharge between the electrolyte jet and the processed part strikes and burns at $U=510-515$ V. When the discharge changes to the electrolysis mode, the current increases in 1.5–2 times. With the increase of volume electrolyte velocity the discharge current grows. The study of the dependence of discharge current density between the electrolyte jet and metal anode on the discharge current showed that with the increase of current the density of current on the electrolytic electrode grows in a linear function. The analysis and synthesis of a large number of experimental data proved that the electrical discharge can be used for engineering purposes. Using the plasma of discharge with electrolyte jet it is possible to perform such operations as the tubes inner surfaces cleaning, metal piercing, metal cutting, deburring of parts edges, and product marking without changing the properties of the rest mass of a part.