

03

Микроструктурный анализ положительного электрода электрогидравлического бура

© К. Кусаиынов, Н.Н. Шуюшбаева, Б.Р. Нусупбеков, К.М. Турдыбеков,
К.М. Шаймерденова, Б.А. Ахмадиев

Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова,
100028 Караганда, Казахстан
e-mail: nn_shuish@mail.ru

(Поступило в Редакцию 26 марта 2015 г.)

Рассмотрены характер изменений и качество поверхности электродной системы бура после электрогидроимпульсной обработки. Проведен спектральный анализ микроструктуры расплавленных участков поверхности электродов бура, полученных в результате воздействия подводного искрового разряда. Экспериментально установлены закономерности процесса эрозийного износа металла электрода от энергетических параметров и количества электрогидравлических импульсных воздействий.

Настоящая работа посвящена методу электрогидравлического бурения скважин, в основе которого лежит уникальное явление — способ прямого преобразования электрической энергии в механическую энергию ударных волн, эффективно разрушающих горные породы в условиях ограниченного пространственного объема в забое скважины.

Основой разработанной электроимпульсной обработки является электрогидравлический эффект Юткина [1–3].

Электрогидравлическое бурение является принципиально новым способом и до сих пор не нашло промышленного применения. Основным преимуществом предлагаемой технологии является надежность, обусловленная отсутствием трущихся и изнашивающихся частей установки, и простота в эксплуатации и обслуживании. Однако, внедрение данной технологии и широкое использование на практике затруднены некоторыми нежелательными эффектами и последствиями. Процессы, происходящие на поверхностях электродов, подверженных эрозии и воздействию мощных подводных искровых разрядов, требуют дополнительного исследования. При электрогидравлическом бурении скважин происходит также износ кабеля электрода положительной полярности, он является расходным материалом. На поверхностях как положительного, так и отрицательного металлических электродов появляются расплавленные участки, влияние которых на прочность системы электродов полностью не изучено. В связи с этим целью настоящей работы является экспериментальное изучение степени и скорости изнашивания электродов от энергетических параметров и количества электрогидравлических импульсов.

В лаборатории гидродинамики и теплообмена КарГУ им. академика Е.А. Букетова разработана и собрана электрогидравлическая установка с рабочей ячейкой для проведения испытаний и изучения различных процессов, сопровождающих электрогидравлическое бурение. Принцип работы электрогидравлического бура заключается в следующем: вначале импульсный конденсатор заряжа-

ется от высоковольтного генератора. При достижении заданного напряжения происходит пробой разрядника и вся запасенная энергия в импульсном конденсаторе через кабель-электрод передается в рабочий промежуток. Происходит импульсный электрический разряд в жидкости, являющийся источником мощных механических ударных волн, которые, отражаясь от коронки бура, сфокусированно воздействуют на обрабатываемую среду, тем самым разрушая ее на мелкие куски [4–7].

В устройстве для бурения скважин, в рабочей ячейке для центрального электрода используется оголенная жила кабеля марки РК-75-9-12, соединенная с положительным выходом источника импульсного тока, а его отрицательный выход соединен с коронкой электрогидравлического бура. Такую конструкцию электрода удобно использовать при бурении скважин для установки теплообменных труб.

Возникающие при разряде силы за счет гидроудара и гидродинамической силы, в результате перераспределения скоростей способствуют самоцентровке кабеля-электрода. В процессе длительной работы центральная оголенная жила кабеля-электрода укорачивается за счет эрозии, а изоляция торцевой части разрушается. Изоляция в основном прорезается вдоль центральной жилы и снижается эффект работы электрогидравлического бура. Поэтому после электрогидравлического разрушения твердых пород необходимо периодически

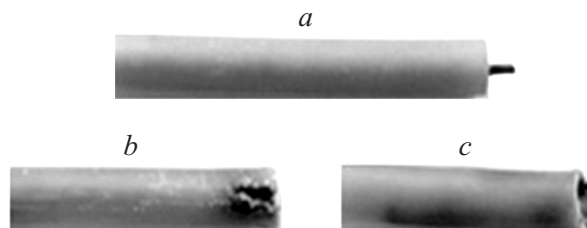


Рис. 1. Кабель-электрод и характерные разрушения их в процессе работы: *a* — до обработки, *b* — при $W = 600$ J, *c* — при $W = 1350$ J.

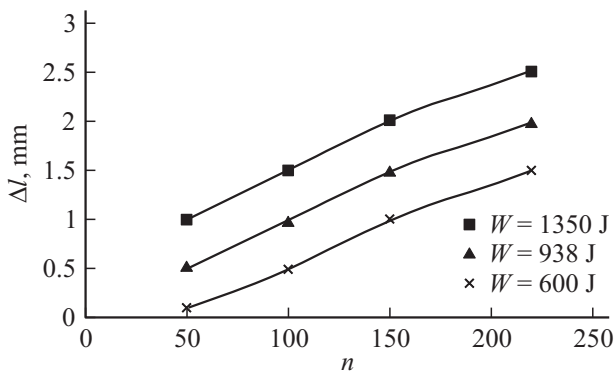


Рис. 2. Зависимость изменения длины электрода от числа импульсов.

обновлять, оголяя рабочий конец кабеля-электрода от изоляционного слоя.

В процессе работы каждый разряд сопровождается эрозионным износом электродов, величина которого зависит от напряжения и энергии в импульсе, материала

электрода и др. В процессе работы кабель-электрод электрогидравлического бура разрушается. Примеры характерных оплавлений и обгораний положительного электрода показаны на рис. 1.

Известно, что в процессе электрогидравлического бурения происходит электро-эрозионная обработка, заключающаяся в „вырывании“ частиц с поверхности металла импульсом электрического разряда [8,9]. Если задано расстояние между электродами, погруженными в жидкую среду, то при сближении электродов происходит пробой и возникает электрический разряд с образованием плазмы высокой температуры в канале разряда. Это свойство используется при электроэрозионной обработке материалов, которая обычно проводится электрическими импульсами длительностью не более 0.01 с, так чтобы выделяющееся тепло не распространялось вглубь материала. Кроме того, давление частиц плазмы при ударе об электрод способствует эрозии не только расплавленного, но и разогретого вещества.

Электрический пробой всегда распространяется по кратчайшему пути, поэтому в первую очередь разруша-

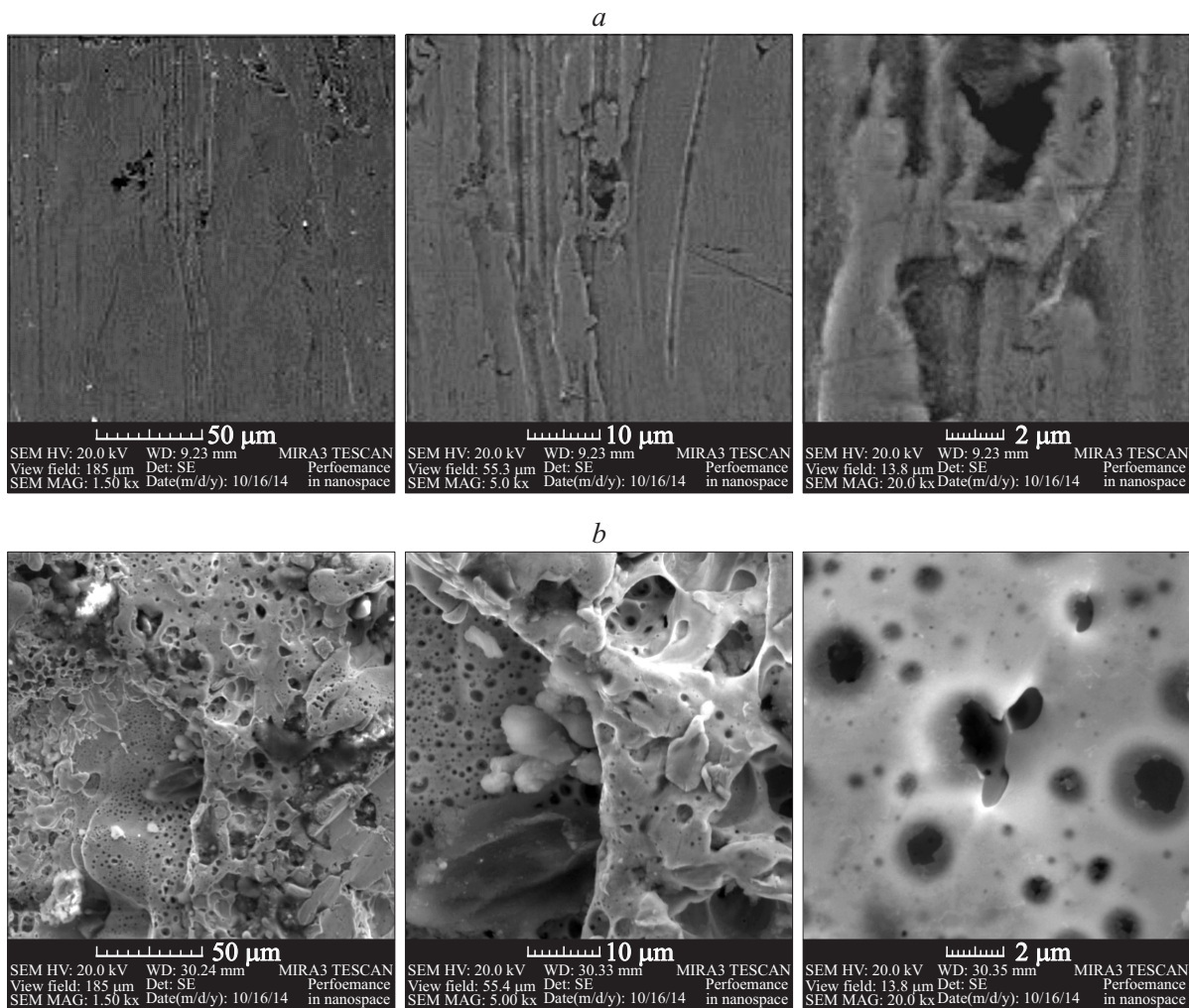


Рис. 3. Центральный кабель-электрод с разными увеличениями: *a* — до и *b* — после электрогидравлической обработки.

ются наиболее близкие участки электродов. Характер изменений и качество поверхности после обработки зависят от длительности, частоты, энергии электроимпульсов.

По результатам экспериментов получено, что при напряжении 20 kV выделяется импульс энергии в объеме 600 J. Тогда первоначальная длина стержня положительного электрода из меди с диаметром 2 mm в результате 121 импульсного разряда укорачивается на $\Delta l = 1 \text{ mm}$, а после 178 импульсов — на $\Delta l = 3 \text{ mm}$. В проведенных экспериментах получено, что при выделении в иницируемом разрядном промежутке энергии $W = 600 \text{ J}$ и напряжении 20 kV эрозия положительного электрода сопровождается уменьшением объема электрода примерно на $(3.14\text{--}9.42) \text{ mm}^3$.

На рис. 2 показана зависимость изнашивания длины рабочего электрода от числа импульсов при разных энергиях разряда (от 600 до 1350 J). Как видно из графика, с увеличением энергии разряда рабочий электрод изнашивается быстрее при постоянном числе импульсов.

На рис. 3 показаны микроснимки центрального кабеля-электрода до и после электрогидравлической обработки с разными увеличениями, полученные микроскопом марки MIRA3 TESCAN.

Из рис. 3, полученного с помощью электронного микроскопа с различными увеличениями, можно более детально рассмотреть изменения микроструктуры положительного электрода.

Анализ полученных после электроимпульсной обработки снимков поверхности кабель-электрода показал следующее. В целом микроструктура всей поверхности существенно изменилась и наблюдаются обширные расплавленные участки, включающие в себя пятна различной плотности и структуры, а также пустоты. Но при этом обследование продольных и поперечных шлифов под микроскопом при 20 000-кратном увеличении следов трещин в металле не показало.

В ходе проведения экспериментов исследованы процессы эрозии металлической части электродной системы электрогидравлического бура. Исследованы расплавленные участки поверхности на основе анализа микроструктурных изменений поверхности электродов до и после электрогидравлического воздействия при различных параметрах электрических разрядов. Как показывают исследования характерных изменений кабеля-электрода в процессе электрогидравлического бурения, эрозионный износ металлов происходит по-разному в зависимости от электрических параметров, частоты и длительности разрядов.

Внутренняя поверхность трубчатой оболочки электрогидравлического бура, служащего отрицательным электродом, не разрывается и не подвергается механическому износу. Существенный износ происходит только в центральном кабеле электрода, который является единственным расходным материалом.

Таким образом, электрогидроимпульсный способ бурения скважин для теплообменников дает возможность

достижения более высокой в сравнении с механическими способами эффективности разрушения с низкими энергетическими затратами.

Список литературы

- [1] Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение. 1986. 253 с.
- [2] Малюшевский П.П. Основы разрядно-импульсной технологии. Киев, 1983. 272 с.
- [3] Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р. // Издатсервис. Караганда, 2010. 250 с.
- [4] Кусаиынов К., Турдыбеков К.М., Кужуханова Ж.А., Шуюшбаева Н.Н. // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2013. Т. 2. Вып. 13. С. 420–425.
- [5] Stoev M., Kussaiynov K., Shuyushbayeva N.N., Nussupbekov B.R., Karagaeva M.B. // Вестник КарГУ. Сер. Физ. 2014. Т. 3. С. 68–74.
- [6] Kusaiynov K., Shuyushbaeva N.N., Kuzhuhanova J.A., Ahmadiyev B.A. // Mathematics and Natural Science. 2013. Vol. 3. P. 51–56.
- [7] Nusupbekov B.R., Kussaiynov K., Sakipova S.E., Khasseynov A.K., Beisenbek A.Zh. // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. 2014. Vol. 36. N 2. P. 275–286.
- [8] Гулый Г.А. Оборудование и технические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. Киев, 1977. 324 с.
- [9] Мазуровский Б.Я., Сизев А.Н. Электрогидравлический эффект в листовой штамповке. Киев: Наукова думка, 1983. 192 с.