

**К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ЭФФЕКТА МАРАНГОНИ
НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНИЧНОЙ ЛУНКИ
ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ**

В статье рассматривается эффект Марангони применительно к формированию единичной лунки при электроэрозионной обработке и представлены результаты моделирования процесса.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, искровой разряд, эффект Марангони, единичная лунка, поверхностное натяжение, градиент сил, температурные напряжения.

Эффект Марангони (Марангони — Гиббса, Томсона — Марангони — Гиббса) проявляется при переносе вещества вдоль границы двух сред вследствие разницы коэффициентов поверхностного натяжения. Первооткрыватель эффекта Джеймс Томсон (1855 г.) исследовал явление «слезы вина», когда этиловый спирт из-за меньшего коэффициента поверхностного натяжения проступает в виде капель по краям бокала (J. Thomson, 1855). Это же явление объясняет эффективный транспорт поверхностно-активных веществ (ПАВ) на поверхности воды со скоростями, значительно превышающими скорость диффузии. Подробнее эффект был изучен Карло Марангони в 1865 году (C. Marangoni, 1865) и теоретически объяснен Джосайей Уиллардом Гиббсом в 1875 году (J. W. Gibbs, 1878), а также Субраманьяном Чандрасекаром в 1961 г. (Chandrasekhar S., 1961) на основе общего подхода к самоорганизации хаотических систем.

В процессе электроэрозионной обработки энергия искрового разряда передается преимущественно катоду (то есть обрабатываемой детали). При этом возникает зона расплавленного материала детали — единичная лунка, которая экстрактируется из зоны обработки, образуя частицы отхода (продукты эрозии). Значительный вклад в понимание процессов в зоне разряда внесли акад. Лазаренко Н. И. (Лазаренко Б. Р., Лазаренко Н. И., 1946) и Золотых Б. Н. (Золотых Б. Н., 1957), однако полного понимания происходящих процессов, так же как и единого мнения о механизмах эрозии, в настоящее время не имеется (см., например, Фотеев Н. К., 1980; T. Eubank et al., 1993). В частности, в работах авторов статьи рассматривается упрощенная модель удаления материала за счет температурных напряжений в материале вследствие практически мгновенного охлаждения зоны расплава после отключения дуги электроразряда.

Ввиду значительной сложности происходящих процессов и их многодисциплинарного характера значительную помощь в исследованиях может оказать модель явления, предназначенная для расчета методом конечных элементов.

Так, рассмотрим процесс нагрева разрядом заготовки из чистого железа и диэлектрика дистиллированной воды. В этом случае, градиент сил поверхностного натяжения достигается только вследствие разности температур. Следовательно, металл будет перетекать от зоны нагрева к менее нагретым участкам от центра наружу, что соответствует лунке в виде кратера.

Предварительные результаты моделирования процесса представлены ниже.

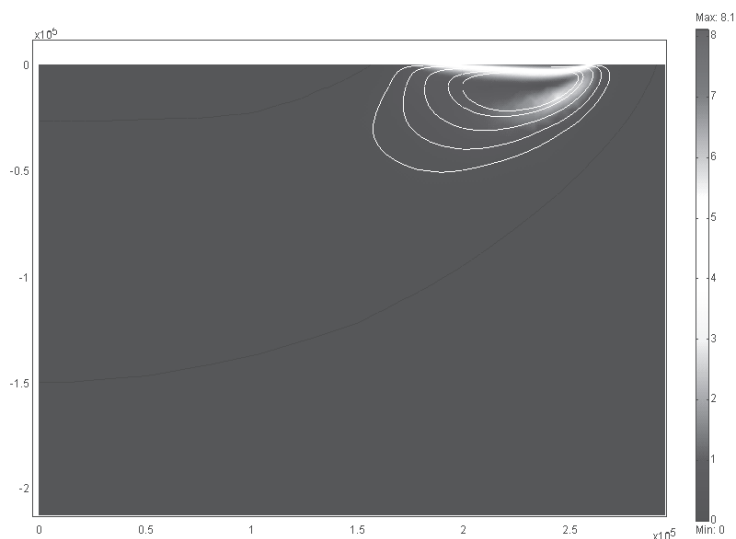


Рис. 1. Поле скоростей материала детали на момент завершения разряда (по данным Grégoire Witz, Bernard Revaz et René)

Расчеты показывают, что зона расплава перемещается между границами (отмеченными на рисунке черными линиями). Так как материал гомогенный, то единственный фактор, влияющий на скорость движения — это градиент температур. Таким образом, следует ожидать движения расплавленного металла от центра к краям лунки с формированием центрального кратера.

Как уже отмечалось, существуют химические соединения, изменяющие коэффициент поверхностного натяжения. В роли такого «поверхностного активного вещества» может использоваться сера S, так как она образует химические соединения с железом, что и объясняет механизм ее воздействия.

При добавлении серы картина распределения существенно меняется (рис. 2).

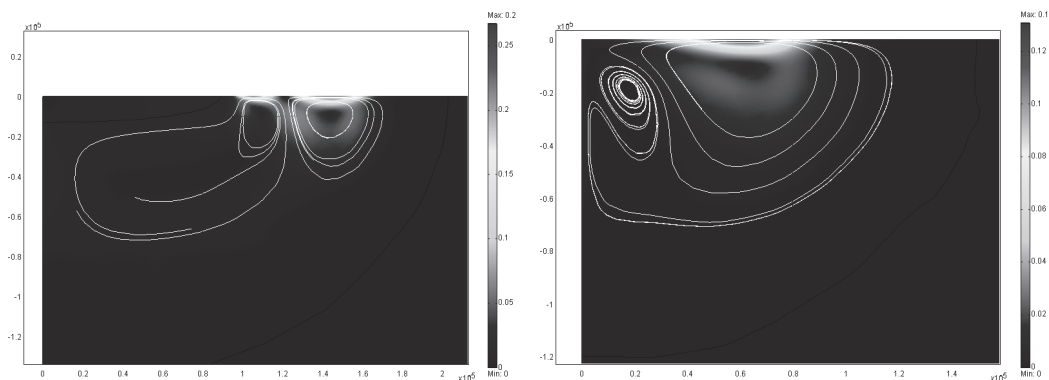


Рис. 2. Поле скоростей движения материала при добавлении серы к диэлектрику

На момент завершения разряда формируется два участка расплава. При этом левый по рисунку (меньший) движется, как и раньше, наружу от зоны пробоя, тогда как правый — к центру лунки, что является еще одним проявлением эффекта Марангони. За время остывания левый участок «тонет» и перемещается книзу, тогда как основной участок расплава продолжает перемещаться к центру пробоя. Таким образом, следует ожидать не кратера, а заметного выступа в центре.

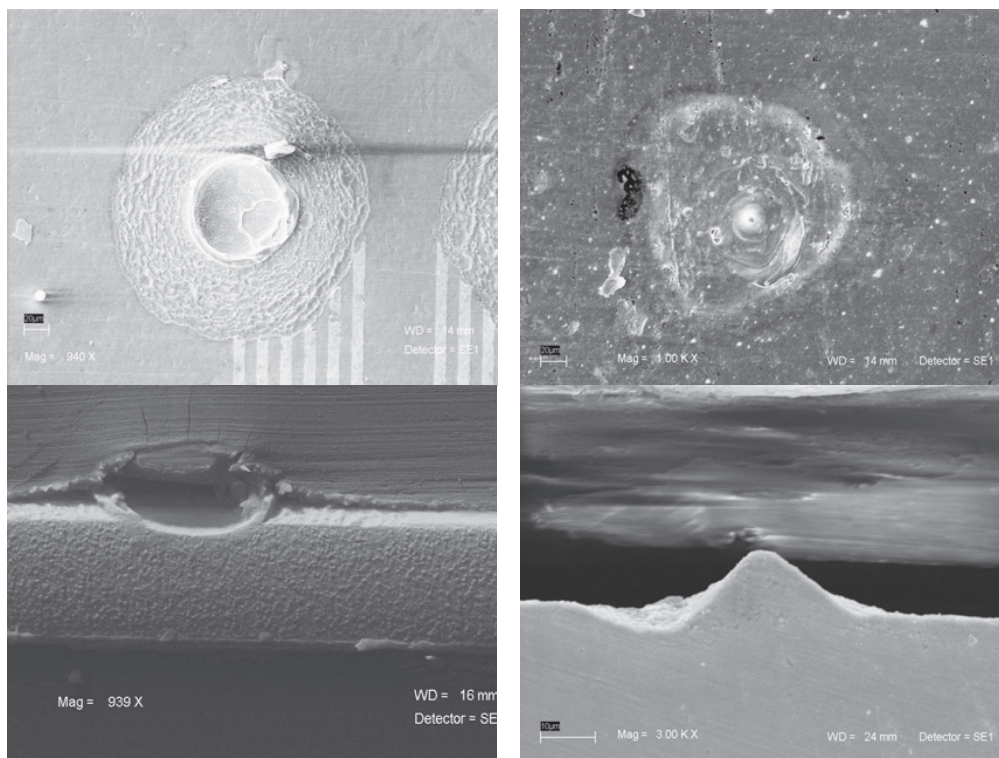
Результаты экспериментальных исследований хорошо совпадают с расчетными.

Выводы

Течение расплавленного металла в зоне разряда подчиняется зависимостям, найденным при исследовании равновесия смешанных субстанций.

Вследствие градиента сил поверхностного натяжения вызванного разностью температур и/или воздействием дополнительных агентов (аналогично деятельности ПАВ) происходит движение расплавленного металла в виде валика в случае чистого железа — от центра к краям лунки.

В зависимости от условий (наличия или отсутствия примесей в диэлектрике, в частности для железа — серы) градиент сил поверхностного натяжения может изменить знак, что ведет к смещению расплава в центр лунки на скоростях порядка 10^2 мм/сек.



Без примесей

С добавлением серы

Рис. 3. Одиночная лунка

При этом возможно существенное повышение производительности электроэрозионной резки ввиду более эффективной экстракции расплава из центра.

Литература

1. Marangoni C. Sull'espansione delle gocce di un liquido galleggiante sulla superficie di altro liquido (итал.). 1865.
2. Chandrasekhar, S. (1981) [1961]. Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability. New York: Dover. ISBN 0-486-64071-X.
3. Grégoire Witz, Bernard Revaz et René Flükiger Heat transfer and Marangoni effect in the electron discharge machining (EDM) process.
4. Thomson J. On certain curious motions observable on the surfaces of wine and other alcoholic liquours (англ.) // Philosophical Magazine. 1855. Т. 10. С. 330.
5. Gibbs J. W. On the Equilibrium of Heterogeneous Substances. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences, 3, 108–248, 343–524 (1875–1878). Reproduced in both The Collected Papers (1906) and The Collected Works of J. Willard Gibbs (1928).
6. Eubank T. et al. Theoretical models of the electrical discharge machining process. III. The variable mass, cylindrical plasma model, J. Appl. Phys., Vol 73, P. 7900–7909 (1993).
7. Золотых Б. Н. О физической природе электроискровой обработки металлов. В кн.: Электроискровая обработка металлов. М. : Изд-во АН СССР, 1957. Вып. 1. С. 38–69.
8. Лазаренко Б. Р., Лазаренко Н. И. Физика искрового способа обработки металлов. ЦБТИ ЭП, 1946. 76 с.
9. Фотеев Н. К. Технология электроэрозионной обработки. М. : Машиностроение, 1980. 203 с.

A. I. Samarkin, O. V. Negina

ON THE EFFECT OF THE MARANGONI EFFECT ON THE FORMATION OF WELL AT EDM UNIT PROCESSING

The article investigates the Marangoni effect in relation to the formation of a single cavity in the EDM process and the results of simulations of this process.

Keywords: spark machining, spark discharge, Marangoni effect, a single hole, the surface tension gradient forces, thermal stresses.

Самаркин Александр Иванович — доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, канд. техн. наук, alex_samarkin@mail.com.

Негина Оксана Витальевна — старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, oxana_neg@mail.ru.