

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. А. Агеев, М. А. Султанов, Роль полярности электродов в механизме эрозии металлических пластин, *ТВТ*, 1973, том 11, выпуск 3, 498–502

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.231.219.178

6 ноября 2024 г., 23:48:31



УДК 533.92

РОЛЬ ПОЛЯРНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ В МЕХАНИЗМЕ ЭРОЗИИ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

В. А. Агеев, М. А. Султанов

Изучен механизм эрозии различных металлических пластин в зависимости от полярности электродов, включенных в электрическую цепь разрядного контура. По мнению авторов, в процессах разрушения исследуемых материалов преобладающую роль в этом случае играет не тепловой, а взрывоподобный механизм абляции.

Известно, что при импульсных разрядах малой мощности полярность электродов может играть существенную роль в механизме их эрозии [1, 2]. В связи с этим представляет интерес исследовать роль полярности в механизме разрушения электродов в высоковольтных импульсных разрядах большой мощности. В работах [3—5] и диссертации М. А. Султанова* исследовался механизм разрушения различных металлов под действием сверхзвуковых плазменных струй (СПС), образующихся при импульсном разряде большой мощности. Показано, что механизм разрушения зависит как от физических характеристик плазменного потока, так и от теплофизических свойств исследуемых материалов.

Данная работа — продолжение серии работ по исследованию абляции металлов при торможении СПС на поверхности мишени. В предлагаемой работе рассматривается механизм эрозии исследуемых металлических пластин в зависимости от полярности электродов. Для достижения этой цели применялась разрядная камера, схема которой показана на рис. 1. Отличием данной схемы от применяемой в работе [4] является то, что вместо второго электрода в цепь разрядного контура включалась металлическая пластинка, на которую поочередно подавался положительный или отрицательный потенциал.

Исследования проводились при следующем режиме разрядного контура: емкость батареи импульсных конденсаторов — 300 мкф, напряжение зарядки — 3 кв. Форма разряда имеет колебательный, затухающий характер. Время первого полупериода тока > 80 мксек, этого достаточно, чтобы исследуемый материал в месте воздействия нагревался, плавился и испарялся. Остальные основные параметры примерно те же, что и в работе [4].

Рис. 1. Схема разрядной камеры для создания резко асимметричных потоков плазмы:

1 — индуктивный катод; 2 — медный электрод; 3 — сопло; 4 — импульсные конденсаторы; 5 — высоковольтный выпрямитель; 6 — генератор поджигающих импульсов; 7 — исследуемая металлическая пластинка; 8 — изолирующая пластинка

* М. А. Султанов. Канд. дис., Минск, 1965.

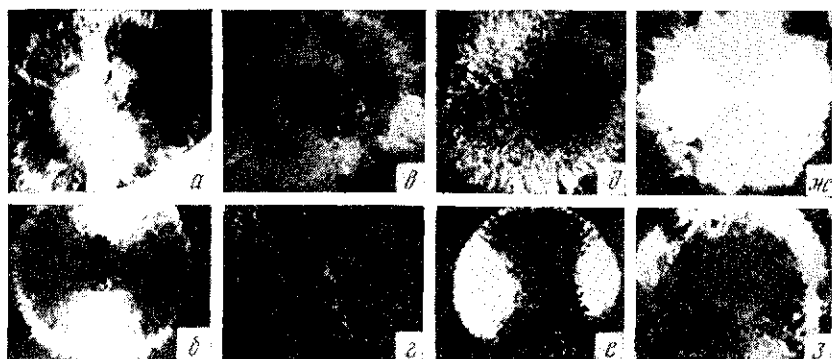


Рис. 2. Общий вид поверхностных картин разрушения металлических пластин:

a — Ni — нейтральная пластина; *б* — Ni — при включении анодом; *в* — Ni — при включении катодом; *г* — Pb — нейтральная пластина; *д* — Pb — при включении анодом; *е* — Pb — при включении катодом; *ж* — сплав Вуда — при включении анодным электродом; *з* — W — при включении катодным электродом

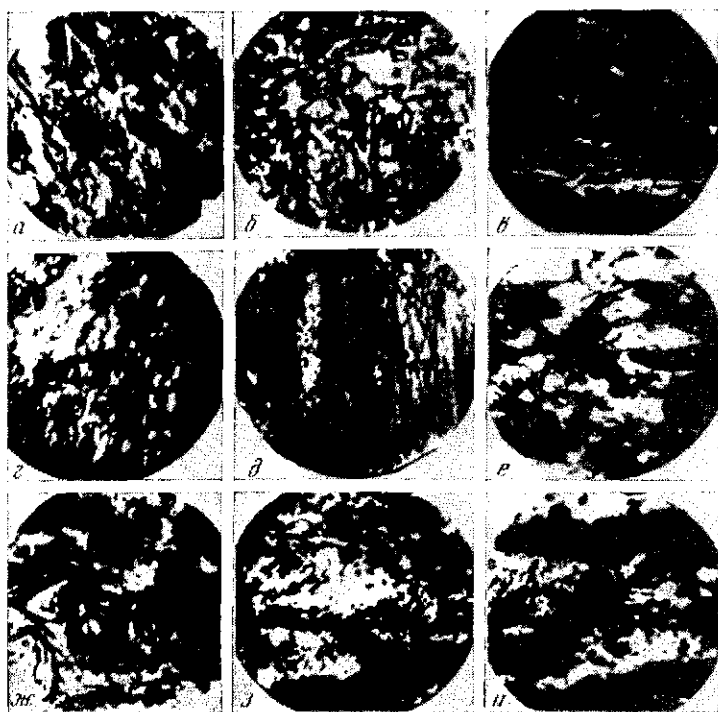


Рис. 3. Микрофотографии поверхностных картин разрушения металлических пластин: *a* — Pb — нейтральная пластина; *б* — Pb — при включении анодом; *в* — Pb — при включении катодом; *г* — Ni — нейтральная пластина; *д* — Ni — при включении анодным электродом; *е* — Ni — при включении катодным электродом; *ж* — Mn — нейтральная пластина; *з* — Mn — при включении анодным электродом; *и* — Mn — при включении катодным электродом

Как показали экспериментальные исследования, при выбранных условиях эксперимента величина и характер поражения мишени практически не зависят от размеров образца, поэтому в наших условиях выбраны пластинки размерами $20 \times 20 \times 10$ мм, каждая из которых подвергалась действию единичного импульса электрического разряда.

Для иллюстрации на рис. 2 и 3 приведены фотографии картин разрушения металлических пластин при включении их в качестве анода и катода. Тщательное изучение фотографий общего вида картины разрушений и мик-

рофотографий центральной зоны пятна поражения позволяет установить, что при включении исследуемой металлической пластинки в электрическую цепь разрядного контура в качестве одного из электродов на поверхности поражаемой мишени почти не наблюдается потоков застывшего металла, а заметно большое число мелких кратеров, в то время как при исследовании эрозии нейтральной металлической пластины отмечается наличие большого числа застывших потоков металла как в периферийной зоне, так и в центральном пятне.

Заметим, что при исследовании разрушения нейтральной металлической пластинки в работе использовалась схема разрядной камеры, описанная в [4], которая позволяет разделить факел от канала разряда. При этом

Параметры эрозии металлических пластин при включении их в качестве электрода

| Элемент | Катод | | | Анод | | | | h_p , мм |
|------------|-----------------|-----------------|------------|------------|-----------------|-----------------|------------|------------|
| | $m_{расч}$, мг | $m_{эксп}$, мг | d_p , мм | h_p , мм | $m_{расч}$, мг | $m_{эксп}$, мг | d_p , мм | |
| Cu | 7,20 | 4,0 | 8,9 | 0,027 | 6,19 | 3,6 | 9,4 | 0,021 |
| Mg | 24,48 | 19,3 | 20,2 | 0,096 | 30,13 | 21,9 | 22,4 | 0,093 |
| Zn | 38,33 | 26,7 | 12,4 | 0,099 | 78,41 | 54,1 | 18,8 | 0,085 |
| Cd | 59,03 | 45,3 | 12,9 | 0,110 | 87,35 | 66,8 | 16,5 | 0,099 |
| Al | 12,96 | 8,2 | 13,4 | 0,056 | 9,28 | 6,6 | 14,6 | 0,043 |
| Sn | 115,20 | 78,6 | 14,3 | 0,201 | 64,52 | 39,2 | 17,9 | 0,076 |
| Pb | 104,92 | 72,4 | 12,6 | 0,145 | 95,88 | 76,6 | 13,7 | 0,120 |
| Ta | 7,70 | 6,0 | 10,6 | 0,011 | 7,82 | 7,1 | 10,7 | 0,010 |
| Cr | 3,88 | 3,2 | 8,5 | 0,020 | 4,04 | 3,2 | 8,8 | 0,018 |
| Mo | 1,65 | 1,2 | 9,3 | 0,005 | 1,46 | 1,3 | 9,5 | 0,004 |
| W | 1,03 | 0,9 | 6,5 | 0,005 | 0,94 | 0,4 | 6,6 | 0,003 |
| Fe | 16,99 | 15,2 | 11,1 | 0,037 | 16,67 | 16,2 | 12,0 | 0,029 |
| Co | 16,87 | 15,5 | 11,3 | 0,032 | 15,04 | 13,4 | 12,4 | 0,027 |
| Ni | 18,16 | 15,8 | 11,4 | 0,029 | 16,26 | 13,5 | 12,8 | 0,024 |
| Mn | 368,0 | 319,0 | 16,2 | 0,512 | 393,0 | 332,0 | 20,2 | 0,350 |
| Сталь | 16,44 | 15,0 | 10,7 | 0,035 | 15,82 | 15,6 | 13,0 | 0,030 |
| Сплав Вуда | 109,15 | 62,1 | 14,2 | 0,138 | 123,74 | 75,3 | 14,9 | 0,106 |

Примечание: m — масса уноса, d_p и h_p — диаметр и глубина разрушения.

надо полагать, что застывшие потоки металла — результат разрушения электродов и последующий выброс продуктов разрушения через цилиндрическое сопло на нейтральную металлическую мишень.

Результаты экспериментальных исследований механизма абляции металлов при различной полярности включения изучавшихся образцов в электрическую цепь разрядного контура приведены в таблице. Анализ ее показывает, что для металлов Zn, Cd, Mg, Pb, Mn, Ta, Fe и сплава Вуда масса выброшенного за пределы мишени вещества оказывается больше при включении исследовавшихся пластин в качестве отрицательного электрода; для металлов Cu, Al, Sn, W, Co, Ni — в качестве положительного электрода; эрозионные параметры Cr и Mo почти не зависят от полярности электродов; для всех исследовавшихся металлов наблюдается уменьшение диаметра и увеличение глубины пятна разрушения отрицательного электрода по сравнению с положительным.

Поэтому используя выводы, сделанные в [5, 6], можно на основании полученных данных предположить, что в рассматриваемом случае в абляции металлических пластин основную роль играет взрывной факельный механизм разрушения. Здесь также следует отметить, что по нашему предположению взрывоподобный механизм абляции в случае анодного и катодного включений электродов может происходить не только под действием больших плотностей тока в канале разряда (см. работы [7, 8] и дис-

сертапии М. А. Султанова и А. Г. Головейко *), плотность тока в канале импульсного разряда может составлять до 10^9 а/мм², но также возможно за счет СПС, поступающих из противоположного электрода и факела, образуемого при электрическом разряде [9].

Изучение СФР-грамм позволило сделать вывод, что поступление паров из анода и катода в разрядный промежуток, действительно имеет асимметричный характер; подтверждением тому служит образование скачка уплотнения на поверхности исследуемой мишени при указанной геометрии разрядной камеры. Кроме того, также как и при воздействии сверхзвукового плазменного потока на нейтральную металлическую пластинку, у поверхности образца регистрируется резко очерченная зона интенсивного свечения, причем яркость этой зоны значительно превышает яркость канала разряда. Поэтому есть все основания считать, что по-прежнему зона интенсивного свечения соответствует ударно сжатой области плазмы, которая за время действия импульса вызывает нагрев и расплавление поверхности подставного образца [3, 4].

Как показывают измерения, размеры зоны разрушения превышают аналогичные величины (параметры эрозии) в случае воздействия СПС на нейтральный образец. В связи с этим можно сказать, что ударно сжатая область плазмы над поверхностью мишени вызывает ускоренный разогрев образца из-за наличия высокой температуры, а специфическое включение металла приводит к неравенству

$$d\theta / dt - dQ / dt \geq dU / dt,$$

где $d\theta / dt$ — скорость подвода энергии; dQ / dt — скорость теплоотдачи излучением; dU / dt — скорость поглощения энергии, идущей на нагревание вещества от начальной температуры до температуры фазовых превращений с последующим взрывоподобным испарением расплавленного материала с поверхности образца.

Очевидно, при взрывоподобном механизме испарения за счет сверхзвукового испарения материала под действием СПФ возникает отдача. Аналогичный эффект имеет место при действии излучения лазера на поглощающие материалы [10, 11]. Под действием импульса отдачи некоторая часть расплавленного металла вытесняется из зоны разрушения (точнее из вавпы); этим, по-видимому, также можно объяснить наличие следов застывших потоков расплавленного металла на поражаемой поверхности образца. Следовательно, необходимо при определении массы унесенного вещества различать массы вещества, унесенного в жидкой и газовой фазах. В таблице приведены суммы масс материала газовой и жидкой фаз, поскольку они обе связаны с эрозией металлических пластин, включаемых в электрическую цепь разрядного контура.

Возможно, что в механизме разрушения исследуемых материалов определенную роль также играет электропроводность. Для правомочности такого предположения можно сослаться на работу [12], где показано, что при существенной роли электроной теплопроводности результат абляции должен в сильной степени зависеть от того, является ли тело проводником или изолятором. Если тело — изолятор, то поток электронов к телу приводит к образованию на его поверхности электронного запирающего слоя, снижающего поток тепла, переносимый электронами, если же тело — проводник, то электроны проникают внутрь тела и, кроме того, на его поверхности имеет место каталитическая рекомбинация электронов с ионами. В данном случае из-за ухода электронов с поверхности металла размеры поражения становятся большими.

Однако эти рассуждения в нашем случае являются лишь предположением. Для ответа на этот вопрос необходимы специальные эксперименты.

* А. Г. Головейко. Канд. дис., Минск, 1970.

Таким образом, на основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что основную роль в механизме эрозии металлических пластин, используемых в качестве электродов различной полярности в электрической цепи разрядного контура, играет мобильная фаза, а не стационарная, как это имеет место в случае воздействия сверхзвуковых плазменных потоков на электрически нейтральную металлическую пластинку.

Таджикский государственный
университет им. В. И. Ленина

Поступила в редакцию
21 VI 1972

ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Таганов. Изв. АН СССР. Серия физич., 23, № 9, 1097, 1959.
2. Е. М. Левинсон, В. С. Лев. Справочное пособие по электротехнологии. (Электроэрозионная обработка металлов). Лениздат, 1972.
3. М. А. Султанов, Л. И. Киселевский. Теплофизика высоких температур, 4, № 3, 1966.
4. М. А. Султанов. Теплофизика высоких температур, 9, № 5, 963, 1970.
5. С. М. Райский. Ж. эксперим. и теор. физ., 10, 908, 1940.
6. С. Л. Мандельштам, Н. К. Суходрев, В. П. Шабанский. Материалы X Совещания по спектроскопии, 2, Львов, 1958, стр. 148; Е. И. Воронцов, стр. 154; И. Г. Некрашевич, И. А. Бакуто, стр. 158; В. М. Зимин, стр. 161; Е. Г. Мартынов, стр. 164; Д. Б. Гуревич, В. К. Прокофьев, стр. 166.
7. И. Г. Некрашевич, С. П. Мицкевич. Сб. научных тр. ФТИ АН БССР, вып. 2, Минск, 1955, стр. 209.
8. И. И. Бейлис, Г. В. Левченко, В. С. Потопиц, В. И. Раховский, Н. Н. Рыкалин. Физ. и хим. обработки материалов, № 3, 19, 1967.
9. С. Л. Мандельштам, С. М. Райский. Изв. АН СССР, Серия физич., 13, 549, 1949.
10. Н. Г. Басов, О. Н. Крохин, Г. В. Скляков. Тр. ФИАН, 52, 1970, стр. 171.
11. D. W. Gregg, S. S. Thomas. Appl. Phys., 37, 2787, 1966.
12. Г. И. Покровский. Физика космических скоростей. «Знапис», 1962.