

ЭЛЕКТРОПОЛИРОВКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ В ПАРАХ ВОДЫ

С.В. Зайцев¹, В.П. Бабаев²

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ; ² Московский институт стали и сплавов

E-mail: zai336@mail.ru

Experimental results on supervision by means of an autoionic microscope of polishing of a surface of refractory materials in strong electric field (with intensity $\sim 10^8 \div 10^9$ V/m) in the presence of water steams are presented. Advantage of a method is possibility of processing of materials of difficult structure. At the same time, there are also the restrictions connected with necessity of creation of a special configuration of electric field. It is offered to use the given phenomenon for increase of "rotundity" of metal micropowders and smoothing of a surface of elements of the high-voltage equipment (that promotes decrease in probability of occurrence of parasitic electric dscharges).

При моделировании метеорного повреждения ускоренными заряженными пылинками существенной проблемой является повышение электрического заряда частиц. Используемые частицы редко имеют идеальную шарообразную форму, а любые неровности приводят к интенсивному стеканию заряда [1].

Полировка поверхности является одной из важнейших технологических операций, позволяющих повысить прочность, создать условия для достижения высокого вакуума и снизить вероятности возникновения нежелательных электрических разрядов. Однако далеко не все материалы удается отполировать с достаточно высоким качеством используя известные методы.

Целью данной работы явилось изучение явления полировки поверхности металлических материалов сложного состава за счет ее взаимодействия с парами воды в электрическом поле высокой напряженности. Практическая задача состояла в разработке метода полировки микропорошков (используемых для моделирования метеорного повреждения космических аппаратов) из металлических сплавов сложного состава.

Микроострие-образец располагался на расстоянии от микроканальной пластины (МКП) на расстоянии 5 см в вакуумной камере. На экране позади МКП создавалось изображение вершины микроострия. Еще на раннем этапе развития автоионной микроскопии было обнаружено, что увеличение давления остаточных газов в микроскопе выше 10^{-5} Па приводит к ускоренной эрозии металлических образцов [2]. Позднее это было связано с присутствием паров воды [3]. Микромеханизм этого явления полностью не выяснен, однако установлены некоторые основные его особенности. Так, причина «прилипания» молекул воды к заряженной поверхности объяснена следующим образом: поляризованные молекулы, приблизившиеся к заряженной проводящей поверхности ближе некоторого критического расстояния, не могут ионизоваться даже в сильном электрическом поле по той причине, что верхний электронный энергетический уровень у них оказывается ниже уровня

Ферми в проводнике. В результате исследований с помощью атомного зонда обнаружено, что пары воды имеют тенденцию к образованию молекулярных ионов с различными металлами, причем такие молекулярные ионы часто десорбируются при полях, существенно более низких, чем поля испарения чистых металлов (так, на вольфраме отмечено образование WO_3^{3+}) [4].

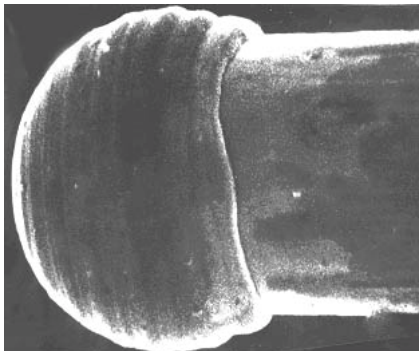


Рис.1. Образец-вольфрамовое микроострие с шариком на конце для исследования адсорбции воды. Диаметр шарика 5 мкм.

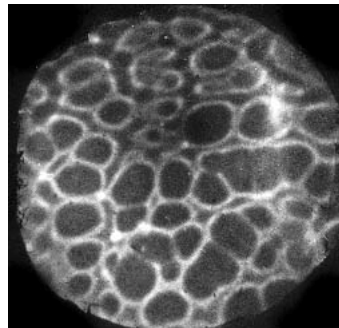


Рис. 2. Пленка воды на поверхности образца, сконденсированная при напряженности электрического поля у поверхности $5 \cdot 10^8$ В/м.

В данной работе изучалось явление полировки вершины образцов – микроострий из вольфрама, молибдена и нержавеющей стали, на вершине которых иногда создавали шарики электрическим разрядом. Существенной разницы при использовании различных материалов замечено не было. Все металлические образцы полируются одинаково интенсивно. Вакуум составлял $10^{-3} \div 10^{-4}$ Па, через натекаль запускались пары воды. На первом этапе проводилось исследование поведения пленки на гладкой поверхности. Форма образца представлена на рис. 1. Обнаружено, что пленка не является однородной. Осажденная жидкая пленка имеет выраженную внутреннюю микроструктуру. Она представляет собой "гранулы", связанные друг с другом перемычками (см.рис.2). Гранулы подвижны, и не связаны с кристаллической структурой подложки. Идет постоянный процесс зарождения и распада гранул, пересоединения «нитей», связывающих их друг с другом, миграция пленки как целого. Нагрев образца (за счет пропускания тока по проволоке, на которой он укреплен) приводит к размытию изображения и испарению пленки, а охлаждение до температуры жидкого азота - к остановке процесса и разрушению упорядоченной микроструктуры пленки. В результате циклирования высоким напряжением структура пленки несколько усложняется (рис.3).

Такого рода самоорганизующаяся структура может возникать и поддерживаться только в случае значительной удельной диссипации энергии, которая приводит к локальному отрицательному

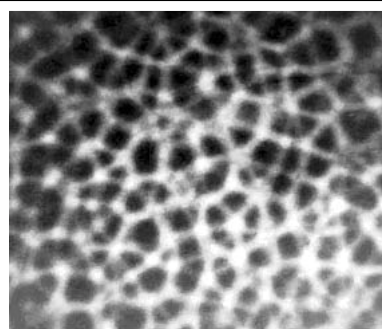


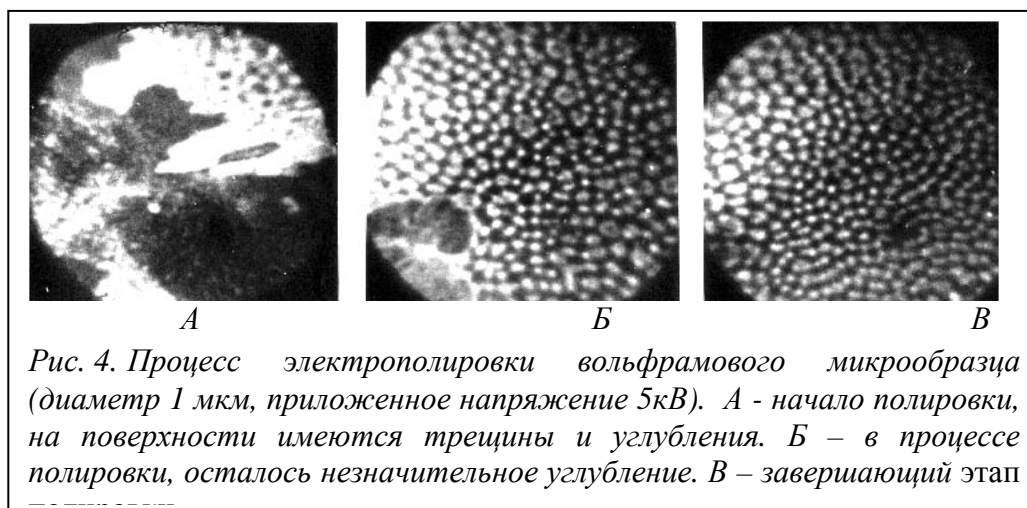
Рис. 3. Самоорганизация пленки воды на поверхности после циклирования высоким напряжением.

производству энтропии [5]. В данном случае через пленку проходит поток электрической энергии. По-видимому, энтропия пленки снижается за счет повышения энтропии электронного потока (электроны, ранее локализованные в атомах изображающего газа, переходят через пленку в металл и "смешиваются" с электронным газом). При повышении напряженности поля пленка проходит через несколько устойчивых упорядоченных состояний.

Из представленных микрофотографий (см. рис. 4) видно, что сначала водяная пленка образуется на выступающих частях исходной неровной поверхности вершины микроострия - образца. Затем поверхность сглаживается и приобретает полусферическую форму. Зародыш мономолекулярной водяной пленки, разрастаясь, уничтожает все неровности. При этом отсутствуют какие-либо разряды или скачки напряжения и тока.

Большинство имеющихся экспериментальных данных указывают на то, что вода адсорбируется на вольфраме в частично диссоциированной форме ($H_2O \rightarrow OH + H$), причем связь осуществляется преимущественно посредством атома кислорода. [6]. Однако наши наблюдения за поведением единичных осевших молекул не позволяют сделать вывод об их диссоциации. Кроме того, единичные молекулы сидят на поверхности не проявляя «агрессивности». Полирующими свойствами обладают только скопления молекул (но это, возможно, связано просто с повышением напряженности электрического поля).

От метода полевого испарения, который также позволяет получать атомарно-гладкую поверхность, данный процесс отличается тем, что здесь используется по крайней мере на порядок меньшая напряженность электрического поля. Поэтому в данном случае гораздо ниже вероятность механического разрушения или возникновения микроскопических разрядов в



процессе полировки, которые сами в свою очередь приводят к появлению на поверхности либо бугорков, либо микрократеров. Таким образом, добавка паров воды существенно интенсифицирует этот процесс. Кроме того, можно с уверенностью утверждать, что все проводящие материалы и порошки в том числе, покрыты подобной пленкой воды при условии, что у их поверхности существует электрическое поле указанной напряженности, и они находятся в вакууме не лучше 10^{-5} Па.

1. А.И.Акишин Космическое материаловедение. М:НИИЯФ МГУ, 2007-с.209.
2. А.Л.Суворов, Г.М.Кукавадзе Об устойчивости изображений в ионном проекторе ПТЭ 1969 №4,с.218.
3. И.Н.Сливков Процессы при высоком напряжении в вакууме. М.Энергия,1986,256с.
4. И.Миллер Масс-анализ в автоионной микроскопии. М.Мир, 1993, 230с.5.
5. Г.Николис, И.Пригожин Познание сложного. М.Мир, 1993, 344с.6.
6. А.М.Кузнецов Адсорбция воды на металлических поверхностях Соросовский образовательный журнал 2000,т.6,№5,с.45-51.