

Н.В. Новиков, Р.А. Гурвич

## К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ АЛМАЗНО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ КАТОДАМИ

*Институт сверхтвердых материалов НАНУ,  
ул. Автозаводская, 2, г. Киев, 04074, Украина*

Общеизвестно, что в так называемых комбинированных процессах обработки металлов и сплавов совмещенное воздействие на обрабатываемую поверхность нескольких способов ее микро-разрушения облегчает съем, притом с эффектом по производительности выше аддитивного.

При изучении одного из таких процессов – алмазно-электролитической обработки (АЭО) твердых сплавов облегчение съема обычно связывают непосредственно или косвенно с изменением эффективной мощности ( $N_{эф}$ , кВт).

Анализ причин изменения  $N_{эф}$  при АЭО твердых сплавов показывает, что укрупнено их можно разделить на две группы – режимно-технологического и физико-химического характера.

Первая группа причин связана с влиянием на  $N_{эф}$  притупления алмазных зерен в процессе обработки трения связки алмазосодержащего слоя об обрабатываемую поверхность при засаливании алмазосодержащего слоя круга, изменения реальной силы прижима инструмента под действием распорного усилия, регенерации в процессе обработки режущей способности алмазно-абразивного круга, влияния усилия прижима и скорости вращения инструмента, многих других параметров и факторов процесса обработки.

Вторая группа связана с процессами электролитического растворения сплава, включая пассивационные явления, коррозией металлов под напряжением с адсорбционно-прочностным эффектом, коррозионным растрескиванием и коррозионной усталостью, другими эффектами [1, 2].

Так как причины, относящиеся к первой группе, освещены в технической литературе достаточно полно, в частности в [1], а относящиеся ко второй – значительно уже и меньше, то в настоящей статье основное внимание нами уделено некоторым причинам и особенностям, относящихся ко второй группе – физико-химического характера.

Рассмотрение этого вопроса выполнено путем анализа взаимосвязи эффективной мощности, напряжения на электродах и плотности технологического тока при алмазно-электролитической обработке поликристаллическими катодами (АЭОПК) твердых сплавов группы ВК в содовом ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 100 г/л) электролите, а также алмазной обработке поликристаллическими катодами с СОЖ (АОПК), без СОЖ (АОПК<sub>б/с</sub>) и без СОЖ, но с напряжением на электродах (АОПК<sub>б/с(U)</sub>).

АЭОПК отличается от других разновидностей АЭО тем, что используемые при ней инструменты–катоды оснащаются крупными (не менее нескольких квадратных миллиметров в сечении) поликристаллическими элементами (ПЭ), имеющими гладкие (без острых вершин и граней) рабочие поверхности. В процессе обработки ПЭ, выступающие из корпуса катода на величину, равную высоте межэлектродного зазора, абразивный съем сплава практически не производят, а лишь зачищают обрабатываемую поверхность от образующихся на ней продуктов электрохимических реакций и осуществляют абразивную активацию обрабатываемой поверхности, ее депассивацию. Кроме того, регламентируя высоту межэлектродного зазора, они выполняют одновременно роль износостойких “электроизоляционных прокладок” между катодной и обрабатываемой поверхностями и, будучи прижаты к сплаву, усиливают механические напряжения в его поверхностном слое, интенсифицируя тем самым коррозию металлов под напряжением.

Таким образом, в отличие от других разновидностей АЭО при АЭОПК обеспечивается возможность реализации условий для изучения особенностей процесса съема сплава в условиях сомещения коррозии металлов под напряжением, абразивной депассивации (АД) и электролитического растворения, притом практически без совмещения с абразивным микрорезанием. Последнее обстоятельство облегчает в этом случае возможность изучения процесса алмазно-электролитического съема сплава и его особенностей, в том числе особенностей изменения  $N_{эф}$ .

Эксперименты проводили в соответствии с принципиальной схемой, приведенной на рис.1, трубчатым поликристаллическим катодом (ПК) с наружным и внутренним диаметрами соответственно 30,5 и 21 мм. В его торцевой части закреплены два поликристаллических элемента (ПЭ) диаметром 4,75 мм из износостойкого нетокопроводящего сверхтвердого материала – эльбора-РМ, которые выступают из корпуса на 0,35 мм, регламентируя тем самым равнозначную высоту межэлектродного зазора. Рабочие поверхности ПЭ шлифованы перпендикулярно оси вращения катода.

Обрабатываемыми образцами служили втулки из твердых сплавов группы ВК, толщина стенки и диаметр которых одинаковые по размерам с ПК.

В процессе обработки вращающийся ПК (см. рис.1), через который прокачивается электролит, упруго прижимается к обрабатываемой поверхности твердого сплава. Катод и образец подключаются к источнику технологического (постоянного) тока с регулируемым напряжением на выходе. Изменения во времени величины напряжения на электродах  $U$ , в плотности тока  $i$ ,  $A/cm^2$ , эффективной мощности фиксируются в процессе обработки с помощью записывающих измерительных приборов типа Н 390, Н 340 и Н 346 соответственно.

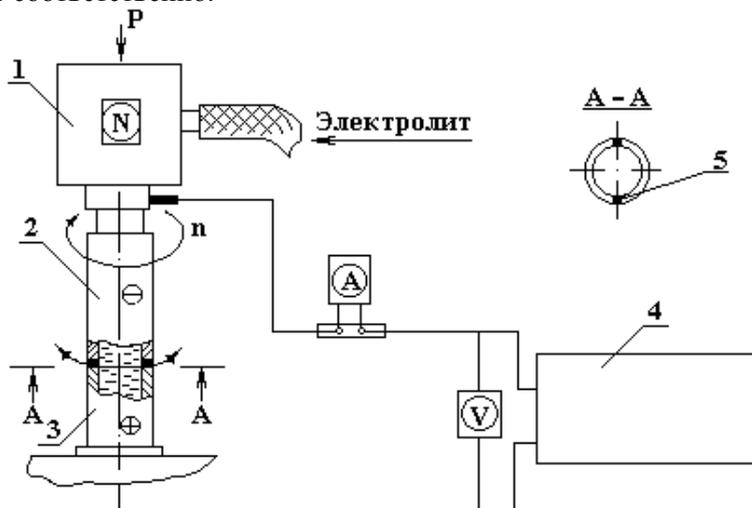


Рис. 1. Принципиальная схема обработки при экспериментальном изучении процесса АЭОПК: 1 – шпиндельная головка, 2 – поликристаллический катод, 3 – обрабатываемый образец, 4 – источник технологического тока, 5 – поликристаллические элементы

С учетом изложенного ранее нами была сделана попытка проанализировать выявленные аномальные особенности взаимосвязи  $N_{эф}$ ,  $i$  и  $U$  при АЭОПК [3].

Было подтверждено, что в случае напряжения на электродах 3 – 5 (7) В имеет место “схватывание” поликристаллов катода со сплавом, приводящее к повышению эффективной мощности и сопровождающееся своеобразным “скрежетом”, “визжанием”, вибрациями системы СПИД. Предложено считать, что “эффект схватывания” связан с прямым переходом в ионное состояние компонентов сплава без влияния образующейся на его поверхности демпфирующей прослойки из продуктов анодного растворения, а также отнести этот эффект к изменению физико-механических свойств поверхностного обрабатываемого слоя сплава. Показано, что при изменении величины напряжения на электродах возможен “реверс” значения коэффициента  $K_{эф} = N_{эфАЭОПК}/N_{эфАОПК}$  – переход его значений от целых чисел к дробным (см. далее). Приведено толкование указанных особенностей АЭОПК.

Другими исследователями вопрос о взаимосвязи  $N_{эф}$ ,  $U$  и  $i$  при АЭО рассматривался косвенно.

В [4] на основании экспериментов по определению микротвердости металлических образцов в условиях измерения ее с использованием токо- и нетокопроводящих сред, в том числе на воздухе, при варьировании значений величины напряжения на электродах сделаны выводы о том, что “электрическое зарядение поверхности при отсутствии тока повышает поверхностную микротвердость металла, а ток снижает ее. Изменение поверхностной микротвердости металлов наблюдается только в

момент действия электрического тока и рабочей среды. После снятия любого из этих факторов микротвердость восстанавливалась до исходной”.

В другой работе авторов [5] указывается, “что с ростом плотности тока при неизменной глубине царапания величины нормальной  $P_n$  и тангенциальной  $P_t$ , составляющих усилия микрорезания, уменьшаются. Темп их снижения различен для различных по природе и свойствам материалов”.

Изменение твердости поверхностного слоя металлов должно влиять на усилие микрорезания в процессе обработки и, следовательно, на величину  $N_{эф}$ .

Желательно отметить, что параллельно с указанными исследованиями и независимо от них анализ причин облегченного съема твердого сплава при совмещенном воздействии на него абразивного микрорезания и электролитического растворения в ИСМ НАНУ проводился с позиций коррозионного растрескивания и коррозионной усталости сплава. Были проведены широкие исследования процессов алмазного, алмазно-электролитического, ультразвукового алмазного и ультразвукового алмазно-электролитического царапания твердых сплавов с привлечением методов электронной микроскопии и металлографии. На основании полученных результатов предложено считать, что облегченный съем твердого сплава при АЭО по сравнению с алмазной обработкой является следствием потери прочности поверхностным слоем сплава как результат образования в нем коррозионных субмикротрещин, проявляющихся при упругой подаче инструмента в увеличении глубины абразивного микрорезания (рис. 2). Возникновение таких субмикротрещин связано с выходом дислокаций на обрабатываемую поверхность под действием высоких контактных напряжений в местах взаимодействия алмазного зерна со сплавом и возникновением в них ямок травления, переходящих в образующиеся коррозионные субмикротрещины (рис. 3) [6].

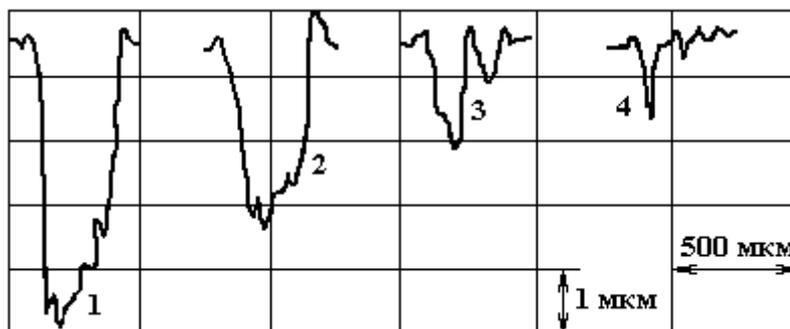


Рис. 2. Сравнительная глубина борозд в сплаве ВК15 при его царапании: ультразвуковом алмазно-электролитическом (1), ультразвуковом алмазном (2), алмазно-электролитическом (3), алмазном (4). Конический алмазный “резец” с раздробленной вершиной,  $\alpha = 120^\circ$ ;  $P = 10 \text{ Н}$ ,  $v = 0,01 \text{ м/с}$ ,  $U = 7 \text{ В}$ ,  $A = 4 \text{ мкм}$ ,  $f = 40 \text{ кГц}$

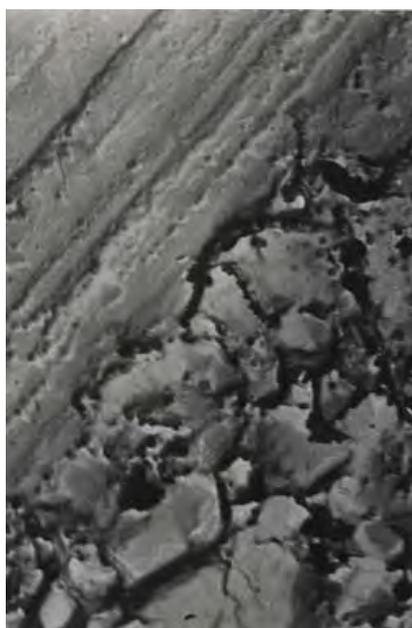


Рис. 3. Коррозионные субмикротрещины на поверхности борозды, образовавшиеся при алмазно-электролитическом царапании твердого сплава (ВК15).  $P = 10 \text{ Н}$ ,  $v = 0,5 \text{ м/с}$ ,  $U = 4 \text{ В}$ ; нитритно-нитратный электролит

С проблемой изменения эффективной мощности косвенно может быть связан также вопрос о коэффициенте трения (рассчитывали как отношение тангенциальной силы к нормальной) связок различных типов алмазно-абразивных кругов при контактировании их с поверхностью стальных и твердосплавных образцов [7]. Автором, со ссылкой на [8], указывается, что в этом случае “токовую нагрузку можно рассматривать как дополнительный входной фактор фрикционной системы наряду с механической нагрузкой, скоростью, температурой, промежуточной средой и др., приводящей к изменению ее внутренних факторов (шероховатости, свойств пленок, тепловыделения в зоне трения, структуры и механических свойств приповерхностного слоя и др., что в свою очередь отражается на фрикционных характеристиках... Увеличение

токовой нагрузки приводит к уменьшению коэффициента трения”... “Рост коэффициента трения с повышением напряжения на электродах предлагается объяснять возникновением и функционированием анодных пленок”. Отмечается также изменение коэффициента трения с изменением потенциала в диапазоне 2 – 6 В.

Не подвергая анализу приведенные другими авторами экспериментальные данные, мы сочли целесообразным с целью дополнения и расширения представлений об особенностях процесса АЭОПК, прямо или косвенно связанных с  $N_{эф}$ , привести полученные нами дополнительные экспериментальные данные, не всегда совпадающие с опубликованными.

Эксперименты проводили при различной скорости абразивной депассивации (АД) обрабатываемой поверхности и большом (100 – 150 Н) усилии прижима к ней ПК. Напряжение на электродах изменяли через 1 В при регулировании его в диапазонах 3 – 15 В – прямой ход вольт-амперной характеристики (ВАХ) и 15 – 3 В – обратный ее ход. При фиксировании значений  $U$ ,  $i$  и  $N_{эф}$  на записывающих приборах продолжительность обработки для каждого съема показаний составляла 15 с. Обрабатывались твердые сплавы группы ВК, использовался водный раствор соды ( $Na_2CO_3$  – 100 г/л). Инструменту сообщалось вращение со скоростью  $n = 2000$  и 4500 об/мин.

В результате проведенных экспериментов подтверждено, что в диапазоне значений напряжения  $U = 3 – 7$  (8) В (верхний предел мигрирует в положительную сторону с ростом  $n$ ) при прямом и обратном ходах ВАХ имеет место аномальное изменение эффективной мощности ( $N_{эф.аном}$ , кВт) (рис. 4).

Аномальное повышение (скачок)  $N_{эф}$  при АЭОПК сопровождается своеобразными “визжанием”, скрежетом или тархтением, продолжающимися в большинстве случаев несколько секунд (ориентировочно до 5) и связанными, как указывалось выше, с “эффектом схватывания” поликристаллов и твердого сплава. “Визжание” свойственно также переходу от АЭОПК к АОПК в области изменения  $N_{эф.аном}$ .

Наибольшие значения  $N_{эф.аном}$  наблюдаются при  $U = 3$  (4) В. Дальнейшее повышение  $U$  приводит к плавному снижению  $N_{эф}$  и при  $U = 6 – 8$  В она достигает номинальных значений ( $N_{эф.ном}$ , кВт), то есть наиболее близких к  $N_{xx}$  и мало изменяющихся с увеличением  $U$ ,  $i$ .

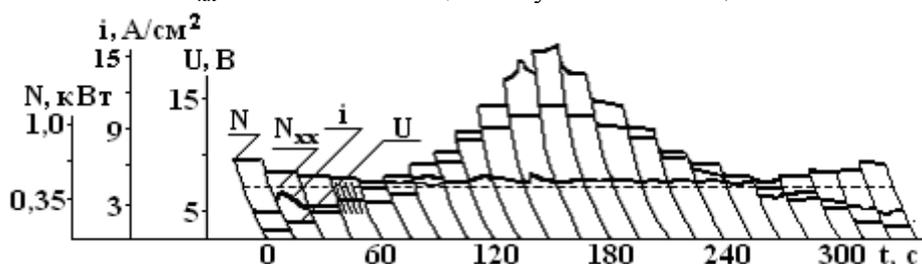


Рис. 4. Осциллограммы изменения мощности электропривода ПК и плотности технологического тока в зависимости от величины напряжения на электродах ( $U$ ) при АЭОПК твердого сплава (ВК8).  $P = 135$  Н,  $n = 2000$  об/мин, содовый электролит ( $Na_2CO_3$  – 100 г/л)

Постепенное снижение  $N_{эф.аном}$  до минимального значения происходит в активной области ВАХ, в которой процессы с образованием на обрабатываемой поверхности пассивирующей пленки, естественно, отсутствуют.

После снижения  $N_{эф}$  до ее номинальных значений при изменении  $U$ , преимущественно в диапазоне 6 – 8 В наблюдается реверс в величине  $K_{эф}$ . Такой реверс происходит в большинстве случаев при  $U = 6 – 7$  В, но может иметь место и при других значениях  $U$ , например 3 В ( $K_{эф}$  в этом случае равнялся 1,3).

$N_{эф.ном}$  находится в диапазоне напряжения  $U = 6$  (7) – 15 В, то есть в транспассивной области ВАХ. Повышение напряжения в этой ее области вызывает незначительный рост  $N_{эф}$  (см. рис. 4).

Как следует из данных рис. 4, изменение  $N_{эф}$  и рост электролитической составляющей плотности технологического тока с повышением  $U$  происходят почти всегда независимо друг от друга, хотя в некоторых случаях снижение  $N_{эф}$  и  $i$  на участке пассивации ( $U = 6 – 7$  В) совпадало, что свидетельствовало о влиянии пассивации на снижение  $N_{эф}$  и реверс  $K_{эф}$ .

Иногда “визжание” и скачок  $N_{эф}$  кратковременно (1 – 2 с) неожиданно могут возникать в транспассивной области ВАХ (см. рис. 4,  $U = 14$  В). В этом случае скачок  $N_{эф}$  сопровождается синфазно соответствующим скачком плотности технологического тока. Одинаковый характер одновременного изменения  $N_{эф}$  и  $i$  при  $U = const$  (резко повышаются или вяло снижаются) связан в таких слу-

чаях по-видимому с “механохимическим изменением коррозионного тока” [9]. С учетом этого можно предположить, что при АЭОПК технологический ток должен включать не только ионную (электролитическую), электронную (“короткозамкнутую”, если в ПК используются токопроводящие ПЭ), но и в некоторых случаях коррозионную составляющие.

Чтобы рассмотреть особенности контактирования поликристаллов ПК и сплава, проведены сравнительные эксперименты при различной последовательности таких вариантов осуществления процесса обработки: а) АОПК<sub>б/с</sub>; б) АОПК<sub>б/с(U)</sub>; в) АЭОПК; г) АОПК (с СОЖ).

Обработка осуществлялась при двух характерных значениях напряжения на электродах, связанных с проявлением в наибольшей мере аномальных изменений  $N_{эф}$ :  $U = 3$  В, при котором  $K_{эф} > 1$ , а удельный съем ( $V_{уд}$ , мм<sup>3</sup>/А·мин) максимальный или близкий к нему, и  $U = 13$  В, при котором  $K_{эф} < 1$ , а удельный съем и выход по току сплава наименьшие [10].

При переходе от АЭОПК к АОПК путем отключения в процессе обработки источника технологического тока (усилие прижима инструмента и обороты его вращения не изменяют),  $N_{эфАОПК}$  в зависимости от величины напряжения на электродах может уменьшаться, увеличиваться или оставаться постоянной, но не падает каскадно до  $N_{эф.ном}$  (рис. 5, 6). Так как в диапазоне аномального изменения  $N_{эф}$  для заданной величины  $U$  в большинстве случаев  $N_{эфАОПК}$  близка к  $N_{эфАЭОПК}$  (см. рис. 6), то можно принять, что влияние потенциала на обрабатываемый сплав имеет “остаточную направленность действия”. В отличие от [4], в проводившихся экспериментах такая особенность связана, по-видимому, с большой ( $\approx 100$  Н) силой прижима ПК к обрабатываемой поверхности.

В случае АОПК<sub>б/с</sub> значения  $N_{эф.б/с}$  в области активного растворения ВАХ, когда наблюдается аномальность изменения  $N_{эф}$ , практически совпадают или близки к ее значениям при АЭОПК (см. рис. 6). Это также подтверждает остаточное действие разности потенциалов на электродах, связанное с изменяющимися механическими свойствами сплава под ее влиянием.

Подача напряжения на электроды при отсутствии технологического тока (АОПК<sub>б/с(U)</sub>) усиливает сопротивляемость сплава механическому воздействию на него ПЭ инструмента, так как переход от АОПК<sub>б/с</sub> к АОПК<sub>б/с(U)</sub> всегда сопровождается увеличением  $N_{эф}$  (рис. 7).

В области транспассивного растворения ВАХ электролитическое растворение сплава под действием технологического тока приводит к снижению прочности обрабатываемого поверхностного слоя, что выражается в соответствующем снижении  $N_{эф}$  при переходе от АОПК<sub>б/с(U)</sub> к АЭОПК (см. рис. 7, б). Наоборот в области активного растворения ВАХ преобладающим является повышение сопротивляемости сплава воздействию на него поликристаллов ПК.

Для случая  $U = 3$  В подача напряжения на электроды в отсутствие анодного растворения сплава (вариант б) вызывает небольшое повышение  $N_{эф}$  и кратковременный скрежет, а при последующем переходе к АЭОПК (вариант в) она  $N_{эф}$  дополнительно увеличивается (см. рис. 7, а) с усилением скрежета.

При  $U = 13$  В визжание отсутствует, а  $N_{эфАЭОПК}$ , как указывалось выше (см. рис. 6), не только ниже  $N_{эфАОПК}$ , но и АОПК<sub>б/с(U)</sub>, плавно снижаясь в течение 2 – 3 с на переходе от АОПК<sub>б/с(U)</sub> к АЭОПК (см. рис. 7, б).

Приведенные сведения подтверждают данные [4] о влиянии потенциала на механические свойства поверхностного слоя металлических материалов, и указывают, в дополнение к ним, на его “остаточное действие” в случае больших усилий прижима ПК к сплаву.

Анализ особенностей взаимосвязи  $N_{эф}$  и  $i$  в различных областях ВАХ позволяет сделать ряд заключений прикладного плана применительно к осуществлению процесса АЭОПК твердых сплавов.



Рис. 5. Плотность технологического тока ( $i$ ) и осциллограммы изменения мощности электропривода ПК при АЭОПК и АОПК с различной величиной напряжения на электродах ( $U$ ). Сплав ВК8, содовый ( $Na_2CO_3 - 100$  г/л) электролит,  $n = 2000$  об/мин,  $P = 135$  Н

В области активного растворения ВАХ, несмотря на возможность повышения  $i$  напряжением, вести обработку нерационально из-за аномально повышенной в этом случае  $N_{эф}$ , связанной с эффек-

том схватывания поликристаллов ПК и сплава. Схватывание вызывает “визжание”, скрежет, вредные вибрации системы СПИД, приводит к неоправданному усилению износа поликристаллических элементов инструмента-катода и затратам электроэнергии на вращение инструмента.

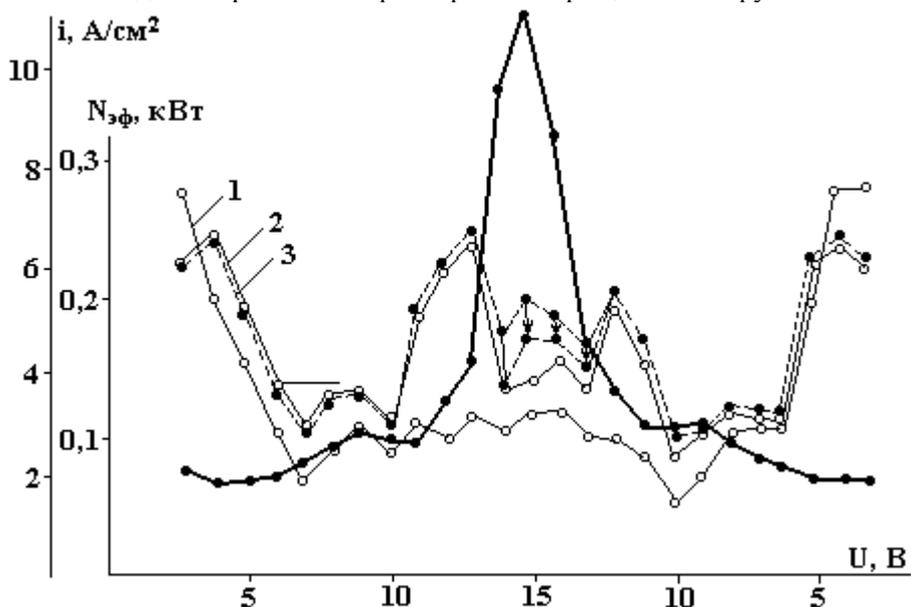


Рис. 6. Зависимости изменения мощности электропривода ПК от напряжения на электродах при АЭОПК(1), АОПК(2) и АОПК<sub>б/с</sub>(3). Сплав ВК8,  $n = 2000$  об/мин, содовый ( $Na_2CO_3 - 100$  г/л) электролит. (Пунктирными стрелками указаны затухающие значения  $N_{эф,АЭОПК}$  при данном значении  $U$ )

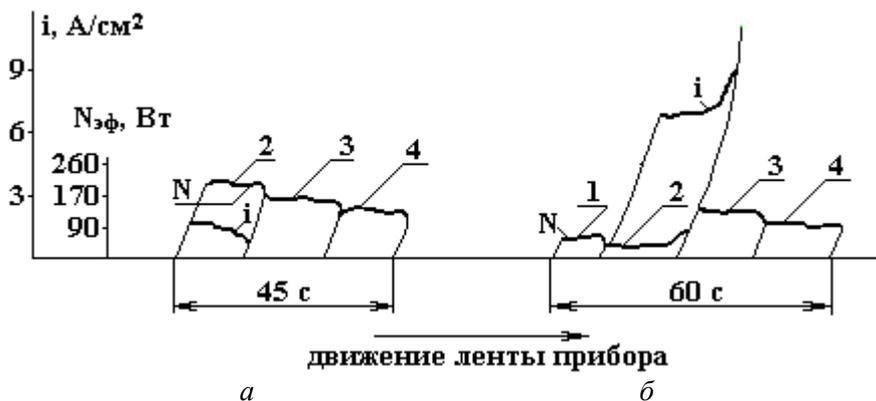


Рис. 7. Осциллограммы изменения эффективной мощности при 1–АОПК, 2–АЭОПК, 3–АОПК<sub>б/с(v)</sub>, 4–АОПК<sub>б/с</sub> с напряжением на электродах 3В(а) и 13В(б). Сплав ВК8,  $P = 135$  Н,  $n = 2000$  об/мин, содовый ( $Na_2CO_3 - 100$  г/л) электролит

В пассивной области ВАХ при несвоевременной АД (ориентировочно  $n = 2000$  об/мин)  $N_{эф,аном} = N_{эф,ном}$ , а  $i$  снижается, что отражается на скорости съема сплава ( $v$ , мм/мин). Несмотря на то, что в этом случае  $V_{уд}$  является наибольшим [10], вести обработку из-за низких значений  $I$  и  $v$  в пассивной области ВАХ неоправданно; Для  $U_{пасс}$ , являющегося в большинстве случаев началом реверса  $N_{эф}$  характерно  $K_{эф} = 1$ .

При больших оборотах ПК ( $n = 4000 - 6000$  об/мин), позволяющих продолжить линейность ВАХ в ее транспассивной области благодаря своевременности АД, особого эффекта в повышении  $i$  и  $v$ , несмотря на переход процесса в номинальный режим  $N_{эф}$ , получить не удастся также из-за относительно низких их значений.

При несвоевременности АД и переходе процесса обработки в транспассивную область (диапазон напряжения от  $U_{пасс}$  до  $U = 12$  В), и даже несмотря на возможность обработки при  $N_{эф,ном}$ , повысить  $i$  более  $i_{пор}$  [10] невозможно. Поэтому вести обработку в данном диапазоне ВАХ также неоправданно.

Основным рабочим диапазоном  $U$  следует считать  $U = 12 - 15$  В, при котором происходит резкое повышение  $i = f(U)$ , а  $N_{эф}$  близка к  $N_{эф.ном}$ . Для оборотов ПК во всем изучаемом диапазоне их депассивирующего действия ( $n = 2000 - 6000$  об/мин при  $N_{эф.ном}$ ) наибольшие значения  $i$  и  $v$  характерны для  $U = 15$  В и в случае различных оборотов ПК мало различаются между собой по величине. Поэтому при выборе рационального значения  $U$  для АЭОПК следует ориентироваться на целесообразность обработки при  $U = 15$  В (не является предельным), а не стремиться к повышению  $i$  и  $v$  путем увеличения  $n$ .

### Выводы

При постоянстве задаваемых значений главных механических параметров процесса АЭОПК усилия прижима и оборотов инструмента – величина напряжения на электродах влияет на величину эффективной мощности, притом как в случае принудительной подачи технологической жидкости в зазор между ними, так и при отсутствии ее. Мера влияния напряжения на  $N_{эф}$  в этом случае связана с областями ВАХ.

В области активного растворения ВАХ ( $> 3$  В) имеет место аномальное повышение  $N_{эф}$ , плавно снижающееся с ростом напряжения на электродах до его порогового значения.

В транспассивной области ВАХ ( $U = 3 - 6(7)$  В) несмотря на большой рост  $i$  с повышением напряжения на электродах, эффективная мощность изменяется мало, оставаясь близкой к  $N_{эф.ном}$ .

Аномальное изменение  $N_{эф}$  связано с изменением механических свойств сплава, выражается в схватывании его с поверхностью ПЭ–катода.

При высоких усилиях прижима ПК (ориентировочно  $P > 30$  Н) подача напряжения на электроды имеет “остаточную направленность действия”.

Технологический ток при АЭОПК, кроме ионной и электронной, может иметь “коррозионную” составляющую.

Для напряжения  $U \approx 13$  В характерно при наименьшем удельном съеме сплава большое дробное значение  $K_{эф}$ .

Наибольшие плотность технологического тока и скорость съема сплава при номинальной эффективной мощности, но наименьших удельном съеме и выходе по току в диапазоне напряжений на электродах  $U = 3 - 15$  В соответствуют  $U = 15$  В (для использованных в эксперименте обработки сплава ВК8 в содовом ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 100 г/л) растворе). Удельный съем сплава и выход по току в этом случае наименьшие.

Стремление к высоким оборотам ( $n_{ПК} > 2000$  об/мин) и высоким усилиям прижима ПК для условий проводившихся экспериментов ( $P \geq 30$  Н) следует считать неоправданным.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гурвич Р.А. Алмазно-электролитическое сверление отверстий в твердых сплавах. Киев, 1977.
2. Романов В.В. Коррозионное растрескивание металлов. М., 1960.
3. Новиков Н.В., Гурвич Р.А. Об эффективной мощности и удельном съеме твердого сплава при его алмазно-электролитической обработке поликристаллическими катодами // Электронная обработка материалов. 1988. № 1–2. С. 17–22.
4. Каданер Л.И., Котляр А.М., Головки А.Д. О влиянии электрического потенциала, рабочей среды и анодного процесса на некоторые характеристики абразивного разрушения металла // Электронная обработка материалов. 1972. № 2. С. 12–16.
5. Котляр А.М., Щербак М.В. Экспериментальное исследование процесса электрохимического абразивного шлифования металлов // Электронная обработка материалов. 1974. № 4. С. 29–33.
6. Гурвич Р.А., Костенецкая Г.Д. Особенности абразивного съема твердого сплава при алмазно-электролитическом сверлении // Электронная обработка материалов. 1974. № 1. С. 67–78.
7. Лавриненко В.И. Электрошлифование инструментальных материалов. Киев, 1993.
8. Кончиц В.В., Мешков В.В., Мышкин Н.К. Триботехника электрических контактов. Минск, 1986.
9. Гутман Э.М. Механохимия металлов и защита от коррозии. М., 1974.
10. Новиков Н.В., Гурвич Р.А. Формирование внутренних поверхностей в изделиях из твердых сплавов электролитическим растворением с применением инструментов из сверхтвердых материалов. Киев, 1998.

Поступила 14.05.03

## Summary

Information is given on peculiarities of abnormal changes of the effective power in electrolytic diamond machining of cemented carbides with polycrystalline cathodes (EDMPC) having smooth working surfaces. The dependence of  $N_{ef}$  on the voltage across the electrodes and the “residual action” of voltage on the cemented carbides are shown. The abnormal variation of  $N_{ef}$  is inadequate to that of the process current density with increasing voltage across the electrodes. “Original” experimental data on the interrelation between  $U$ ,  $i$  and  $N_{ef}$  for different combinations of the variants of machining are given as oscillograms. Analysis of the interrelation between the process parameters in the main ranges of the I–V characteristic suggests that the EDMPS of cemented carbides should be carried out at  $U = 15$  V.

---

А.И. Дикусар

## МИРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОХИМИИ И МОЛДАВСКАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ШКОЛА. НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ\*

*Институт прикладной физики АН РМ,  
ул. Академией 5, г. Кишинев, MD-2028, Молдова*

Молдавская электрохимическая школа сформировалась во второй половине XX века и ее развитие связано с именами таких известных электрохимиков, как А.И. Шлыгин (первый заведующий кафедрой физической химии Кишиневского университета), Я.И. Турьян (кафедра физхимии Кишиневского университета), академики АН МССР Ю.С. Ляликов (электроаналитическая химия) и Ю.Н. Петров (прикладная электрохимия и электрохимические технологии).

Электрохимические исследования в Молдове развивались по многим направлениям, среди которых электроаналитическая химия, электрохимия комплексных соединений, гальванотехника и обработка поверхности, коррозия, электрохимическая размерная обработка и микрообработка, электрофлотация, электрохимические процессы в слабопроводящих жидкостях, электрохимические датчики информации и др.

Эти исследования проводились в Кишиневском (впоследствии Молдавском) государственном университете, Институте химии АН МССР, Институте прикладной физики АН РМ, Кишиневском политехническом институте (позднее Техническом университете Молдовы), Кишиневском сельскохозяйственном институте (впоследствии Аграрном университете). Большую роль в объединении усилий исследователей-электрохимиков различного профиля сыграл международный научный и производственно-технический журнал “Электронная обработка материалов”, издаваемый Институтом прикладной физики АН РМ и переводимый в США под названием „Surface Engineering and Applied Electrochemistry”.

В работе [1] предпринята попытка осуществления наукометрического анализа мировых информационных потоков в области электрохимии по данным SCI (“Индекса научных ссылок”) JCR (указателя цитируемости журналов) за 1999 – 2002 годы. Полученные результаты распределения вклада исследователей различных стран в мировой информационный процесс в области электрохимии могут служить основой анализа места исследователей Молдовы в этом процессе, а также динамики показателей этого вклада.

В [1, 2] показано, что данные SCI и JCR являются надежным индикатором уровня развития исследований в данной стране, регионе и т.д.

---

\* Доклад на заседании Международной школы-семинара по прикладной электрохимии и электрическим методам обработки материалов «Петровские чтения», 13 мая 2003 г.