

И. И. Хафизов

## ИННОВАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ И СПОСОБЫ КОМБИНИРОВАННОГО МАЛООТХОДНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

*Ключевые слова: инновационная модель, малоотходное разделение, технологический процесс, электроалмазная обработка.*

*Разделение армированным диском повышает на порядок и выше потери материала и не обеспечивает стабильных показателей по точности реза, что вызывает необходимость в чистовых операциях. Имеющееся оборудование для разделения материалов не оснащено требуемыми средствами автоматизации процесса, в том числе элементами адаптивного управления с корректировкой режимов по заданным закономерностям.*

*Keywords: the innovative model, low-waste division, technological process, electrodiamond processing*

*Division by the reinforced disk raises on an order and losses of a material are higher and doesn't provide stable indicators on accuracy reza that causes in fair operations. The available equipment for division of materials isn't equipped with demanded automation equipment of process, including elements of adaptive management with correction of modes on the set regularities.*

### Анализ моделей процессов электрохимической и комбинированной обработки

#### С механической депассивацией поверхности

При рассмотрении схемы комбинированной обработки с механической депассивацией поверхности - скорость съема определяется только анодным растворением, а бруски способствуют механическому удалению пассивирующей пленки.

Производительность электроабразивной обработки с применением связанного электропроводного абразива во многом зависит от скорости замены изношенных зерен свежими. Для этого требуется регулировать износ абразивного инструмента. Абразивный инструмент, как и электрод-инструмент, при электроэрозионной обработке под действием разрядов частично разрушается, обнажая свежие режущие зерна. Для разных обрабатываемых материалов интенсивность износа инструмента различная, поэтому экспериментально подбирают или теоретически рассчитывают такое напряжение на электродах и такое давление инструмента на заготовку, чтобы получить наибольшую производительность при минимальном расходе кругов или брусков.

При обработке вязких сплавов на инструмент налипают частицы обрабатываемого материала, что препятствует срезанию стружки. Налипание вызывает местные прижоги на заготовке и ухудшает точность обработки. Чтобы устранить этот недостаток, на электроды подают напряжение обратной полярности, т. е. заготовку подключают к отрицательному полюсу. Происходит анодное растворение инструмента, и налипший металл полностью удаляется. Применяют также схемы правки с разнесением зон обработки и правки.

Комбинированный метод [1] электроэрозионно-химической обработки представляет сочетание двух процессов, которые оказывают взаимное влияние друг на друга, значительно повышая производительность и снижая износ инструмента. Исследования показывают, что при каждом импульсе

последовательно осуществляется сначала анодное растворение, а затем электрическая эрозия металла.

Процесс анодного растворения создает хорошие условия для пробоя промежутка, так как на катоде-инструменте имеется парогазовый слой. Эрозия обрабатываемой поверхности, в свою очередь способствует удалению пассивирующей пленки, значительно ускоряет диффузию и вынос продуктов обработки. Процесс наиболее эффективен при благоприятных условиях удаления продуктов обработки: малой площади рабочей поверхности электрода-инструмента, небольшом размере углубления. Так, при прошивании отверстий скорость подачи электродов после углубления на несколько миллиметров снижается в несколько раз.

Электрическая эрозия сильно сказывается на размерах шероховатости поверхности. На ней возникают углубления, которые несколько сглаживаются анодным растворением, но качество обработки все же хуже, чем при ЭХО. Износ электрода-инструмента от воздействия эрозии может быть снижен, если изготавливать его из эрозионностойких материалов (графита, вольфрама). Энергоемкость такого метода значительно ниже, чем электроэрозионного. Это объясняется лучшими условиями протекания процесса и за счет этого снижением числа разрядов, не производящих удаления металла.

При протекании тока через электропроводные жидкие растворы (электролиты) происходит процесс электролиза, подчиняющийся законам М. Фарадея. В зависимости от конкретных условий могут наблюдаться такие процессы, как осаждение на катоде тех или иных металлических элементов, входящих в состав электролита, образование на аноде окисных пленок, растворение металла анода и др.

Для ускорения подобных процессов прибегают к различным искусственным приемам, которые в частности позволяют осуществлять размерную обработку, использующую явление анодного растворения.

Анодное растворение металла на обрабатываемых поверхностях может быть ускорено либо механическим воздействием самого электролита, либо с помощью соответствующих рабочих инструментов. В некоторых случаях прибегают к использованию комбинированного процесса: электроэрозионного и электрохимического.

Среди процессов размерной электрической обработки в электролитах можно выделить следующие три группы.

1-я группа. Размерная электрохимическая обработка (ЭХО) в движущемся электролите. Автор этого метода обработки В.Н. Гусев назвал его «электрогидравлическим»; позже в некоторых случаях стали применять названия «размерная ЭХО в проточном электролите», «анодно-гидравлическая обработка», «электрохимико-гидравлическая обработка» и др. Но чаще всего этот процесс называют размерной ЭХО. Слово «размерная» применяют для того, чтобы подчеркнуть, что электрохимические явления использованы в данном случае в целях формообразования, а не для обработки поверхности, изделий (полирование, анодирование, нанесение покрытий, окраска и пр.). В дальнейшем изложении процессы 1-й группы называются ЭХО, соответственно смыслу явлений, используемых для формообразования и - в соответствии с установившимися названиями станков.

2-я группа. Электроабразивная обработка, в которой сочетаются процессы анодного растворения и абразивного резания.

3-я группа. Электроэрозионнохимическая обработка, использующая комбинацию анодного растворения и процессов, которые обычно сопровождают электроэрозионную обработку.

В связи с все расширяющейся практикой электрохимической обработки твердых сплавов немаловажную роль приобретает изучение их электрохимического поведения. Такое исследование обработки твердого сплава было проведено А. И. Левиным и М. А. Евсеевой [2]. Выпускаемый промышленностью твердый сплав вольфрамо-кобальтовой группы применяют при изготовлении режущего, кузнечно-прессового инструмента и фильера для волочения проволоки, где требуется разделение заготовок на фрагменты.

Опытные данные показали, что свойства и поведения твердого сплава заметно меняются при ЭХО по мере удаления от начальной поверхности, стабилизируясь лишь на глубине порядка 1 мм. Применение подвижного катода обеспечивало плавную автоматическую регулировку тока в случае компенсации его самопроизвольных изменений по мере изменения материала.

Изучение влияния изменения скорости циркуляции электролита на ЭХО твердого сплава показало, что при определенных значениях потенциала заметный рост плотности тока наблюдался лишь до некоторого предела скоростей циркуляции (300—400 м/мин).

Применяемые в промышленности скорости циркуляции достигают обычно 600 м/мин и выше. Таким образом, электрохимическая обработка

твердого сплава может проходить в той области скоростей потока, в которой увеличение интенсивности циркуляции практически уже не может влиять на скорость процесса ЭХО. Повышение температуры позволяет увеличить выход по току с 90 до 96% и улучшить качество поверхности отверстия [2].

Поляризационные кривые, полученные в отдельности для кобальта, карбида вольфрама и твердого сплава в сложном рабочем электролите и в электролитах, составленных из его компонентов в отдельности (10%-ного раствора хлористого натрия и 5%-ного раствора углекислого натрия), позволили сделать следующие выводы. Потенциал анодного растворения сплава ВК8, как правило, более положительный, чем потенциал растворения его компонентов.

Пассивирование сплава можно объяснить адсорбцией на его поверхности гидроокиси кобальта. Занимая активные участки поверхности кобальтовой связки, она вызывает резкое падение скорости растворения сплава в целом, поскольку растворение фазы внедрения — карбида вольфрама также тормозится при пассивировании связки. Одновременно в результате адсорбции на поверхности сплава ионов гидроксидов образуется катализатор, ускоряющий дальнейшую реакцию растворения кобальта. Повышение скорости ионизации кобальтовой связки устраняет и связанные с ней ограничения в растворении карбида вольфрама, что также приводит к некоторому повышению плотности тока. При этом выделяется кислород. Совокупность этих факторов служит причиной образования наряду с ионизацией кобальта нерастворимого оксида трехвалентного, а возможно и четырехвалентного кобальта. Поэтому с ростом скорости процесса отвод продуктов реакции затрудняется. По мере сдвига потенциала в положительную сторону процесс ионизации сплава начинает конкурировать с образованием на его поверхности пленки, состоящей из продуктов растворения. В некоторый момент эти скорости должны сравняться, затем вторая начинает преобладать. Это в конечном итоге вызывает появление видимой фазовой пленки на поверхности сплава. Качественный анализ образующейся при этом пленки показал присутствие в ней кобальта.

При анодной поляризации металлов параллельно с реакцией их растворения почти всегда образуются поверхностные слои адсорбированного кислорода, а также фазовые слои (пленки) из оксидов или солей металла. Кислородсодержащие слои часто возникают также при контакте металла с раствором (без анодной поляризации), а также при контакте его с воздухом — воздушно-окисленное состояние поверхности [3].

На поверхности металлических электродов, как правило, одновременно образуются различные виды оксидных слоев, например, пористые фазовые слои над адсорбционными слоями.

Часто происходят процессы парения оксидных слоев - изменения их свойств по времени или перехода из одного вида в другой.

Поверхность металла имеет поликристаллическое строение и довольно сложный рельеф: из-за разной ориентации кристаллитов на поверхность выступают различные кристаллографические грани: гладкие грани с низким кристаллографическим индексом и «ступенчатые» грани с высоким индексом. В отдельных случаях может образоваться поверхностная текстура со структурными изменениями, если вместо твердого металла использовать электроды из расплавленного металла (при повышенных температурах и в неводных электролитах) или из жидкой амальгамы данного металла [11].

При анодной поляризации металлического электрода в водных растворах возможны разнообразные электрохимические реакции: а) анодное растворение (окисление) металла с образованием растворимых или нерастворимых продуктов реакции:

а) образование поверхностных адсорбционных и фазовых оксидных или солевых слоев (пленок);

б) анодное окисление компонентов раствора, например, органических примесей;

в) анодное выделение кислорода (в хлоридсодержащих растворах также анодное выделение хлора).

Каждая из этих реакций протекает в своей характерной области потенциалов. Может иметь место параллельное протекание нескольких реакций.

Для реакций анодного растворения металлов характерна сильная зависимость скорости от состава раствора, в частности, от природы и концентрации анионов [4].

#### С абразивным удалением припуска

При совместном использовании анодного растворения металла с воздействием абразива удаление припуска происходит под действием механического шлифования и одновременного растворения материала электрическим током. Благодаря перемещению абразивных зерен относительно поверхности заготовки происходит интенсивное удаление продуктов анодного растворения из зоны обработки, что способствует стабилизации процесса и повышению его технологических показателей. Такой метод называют электроабразивной обработкой. Различают несколько разновидностей его использования: а) абразивонесущим токопроводящим инструментом, б) электронейтральным инструментом и свободным абразивом. В первом случае инструмент имеет форму кругов, брусков, применяемых при механическом шлифовании или повторяющих форму обрабатываемых участков детали. Однако во всех случаях связка должна быть электропроводной. Различают электроабразивную и электроалмазную обработки [6].

#### Электроабразивное разделение материалов

Такую разновидность метода называют анодно-абразивной обработкой электронейтральным инструментом. Электронейтральный инструмент может применяться для шлифования, полирования, притирки, хонингования, суперфинишных операций. Здесь уже необходимы специальные устройства для

поддержания зазора между электродом-инструментом и заготовкой. При электроабразивной обработке несвязанным абразивом абразивные зерна не связаны с заготовкой или инструментом. Их называют свободными. Зерна могут и не иметь абразивных свойств, тогда их называют наполнителем [7].

#### Разделение материалов с применением несвязанных абразивов

Для повышения электропроводности среды наполнитель может быть изготовлен из токопроводящих материалов: шариков из металла или графитовых композиций. Перед повторным использованием электролит отделяется от наполнителя, например, с помощью фильтрующей сетки [8].

#### Технологические показатели процессов

##### Точность обработки

Анодно-абразивный метод используется как для черновых, так и для чистовых операций. При черновой обработке режимы выбирают, исходя из условия получения максимальной производительности. Для чистовых операций необходимо обеспечить высокую точность и хорошее качество обрабатываемой поверхности.

При использовании абразивонесущего инструмента точность обработки значительно выше, чем при электроконтактном или электрохимическом шлифовании, но ниже, чем при обработке абразивным или алмазным инструментом. Обычно погрешность после электроабразивного шлифования находится в пределах 0,02...0,05 мм, а после электроалмазного - 0,01...0,02 мм. Для сравнения можно указать, что погрешность алмазного шлифования обычно составляет 0,001...0,005 мм [9]. Снижение точности при наложении тока объясняется повышенным съемом металла на кромках и удалением его с поверхности, которая обработана абразивом начисто. А бесконтактный процесс анодного растворения зависит от многих параметров, которые изменяются во времени, поэтому съем металла на участках заготовки будет различным. Для повышения точности обработки перед последними ходами инструмента ток выключают и осуществляют выхаживание. Если используется электронейтральный абразивный инструмент, то в конце шлифования обработку также ведут без тока. Это позволяет обеспечить точность, как при применении абразивных или алмазных кругов.

В схемах шлифования со свободным абразивом сложно обеспечить его постоянную концентрацию в промежутке между заготовкой и инструментом.

При анодно-абразивном полировании и хонинговании погрешности не превышают значений, получаемых при использовании традиционных методов.

В случае обработки удаленных участков заготовки в электролитах с наполнителем погрешности формы и размеров не регламенти-

руются.

### Качество поверхности

Из-за постоянного обновления абразивных зерен усилия резания при электроабразивной обработке в 1,5...2,0 раза ниже, чем при шлифовании. При этом снижается наклеп поверхности, не образуются микротрещины. Металл, снимаемый с заготовки, не налипает на инструмент - исключается сильный нагрев из-за трения контактных поверхностей и не возникают местные прижоги. Такие дефекты особенно опасны для высоконагруженных деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок (зубчатых колес, элементов шлицевых соединений). Отсутствие шлифовочных прижогов позволяет повысить ресурс деталей. Шероховатость поверхности после электроалмазной и электроабразивной обработки уменьшается из-за анодного растворения вершин микронеровностей.

С целью повышения точности при шлифовании последние ходы обычно выполняют без тока и тогда шероховатость электроабразивной и электроалмазной обработки близка к получаемой после шлифования инструментом той же зернистости. Если применяют электронейтральный инструмент, то обработку все время выполняют, не выключая тока. Это обеспечивает получение минимального наклепа, отсутствие прижогов поверхности, снижение высоты неровностей до  $Ra=0,1...0,15\text{мкм}$ .

Такие операции позволяют механизировать ручной труд при доводке труднодоступных поверхностей[10].

### Производительность

Все комбинированные методы ускоряют процесс съема металла. При черновых режимах электро-абразивной обработки съем металла происходит в основном за счет эрозии. Процесс близок к электроэрозионному.

Черновая обработка выполняется при повышенных напряжениях. При чистовых режимах съем металла абразивными зернами и эрозией снижается, но возрастает доля анодного растворения.

Если электроабразивное или электроалмазное разделение выполняется периферией круга, то скорость съема металла находят через силу тока  $I$  и напряжение  $U$  на электродах.

При использовании электронейтрального инструмента скорость съема возрастает из-за анодного растворения и, главное, из-за интенсификации процесса резания абразивным инструментом. Поэтому расчет производительности выполняют, как при шлифовании, а влияние тока учитывают коэффициентом, который может изменяться в широких пределах и зависит от свойств обрабатываемого материала.

Производительность процесса электроабразивной обработки с применением свободного абразива или наполнителя в несколько раз выше, чем при аналогичных операциях механической обработки. При использовании свободного абразива в схеме шлифования скорость съема металла находят по зависимостям обработки электронейтральным инструментом. Если обрабатывают удаленные от

электрода с твердым токоведущим наполнителем участки поверхности, то производительность возрастает в десятки раз по сравнению с анодным растворением без наполнителя.

Сочетание анодного растворения и механического (абразивного) воздействия на заготовку значительно расширяет использование электрохимических процессов для размерной обработки[12]. В настоящее время электроабразивную обработку применяют во многих технологических процессах для шлифования, затачивания, полирования и галтования.

### Инновационный способ, конструкция оснастки комбинированного разделения токопроводящих материалов

Как показано на рис.1 в процессе разделения материалов возникает погрешность поверхности паза, что ограничивает технологические возможности при разделении заготовок с повышенным сечением.

Предложен способ калибровки боковой поверхности, позволяющий снизить остаточную погрешность от воздействия электрического поля до 1-3 мкм при увеличении потерь материала не более чем на 5%.

Схема осуществления способа приведена на рис.1. а,б,в,г.

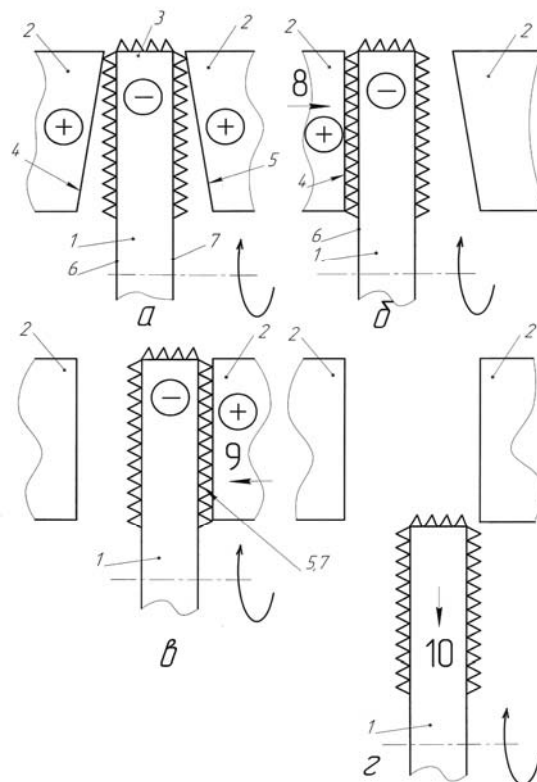


Рис. 1 - Последовательность разделения пазов после калибровки

На рис.1.а показано положение инструмента 1 в момент выхода его из заготовки 2. Инструмент может быть выполнен в форме диска или ленты и перемещается относительно заготовки 2 (вращение, продольное движение). На наружной поверхности инструмента закреплены абразивные зерна 3. Инструмент 1 подключен к отрицательному, а

заготовки 2 к положительному полюсу источника тока. Разделяют заготовку 2 при прямой подаче инструмента 1 в сторону заготовки 2 до окончания разделения. Далее прямую подачу инструмента 1 отключают. После разделения боковые поверхности 4 и 5 зоны разделения заготовки 2 имеют уклоны (или конусы образованные при вращении заготовки 2), вызванные анодным растворением боковыми поверхностями 6 и 7 инструмента 1 в период разделения заготовки 2.

На рис.1.б пояснено направление перемещения 8 заготовки 2 перпендикулярно направлению подачи инструмента 1 в направлении боковой поверхности 4 зоны разделения до соединения с боковой поверхностью 6 инструмента 1. Процесс перемещения заканчивается при стабилизации величины технологического тока, поступающего на инструмент 1 и заготовку 2 от источника тока.

На рис.1.в представлено перемещение 9 заготовки 2 перпендикулярно направлению подачи инструмента 1 до соединения боковой поверхности 5 зоны разделения заготовки с боковой поверхностью инструмента 7 до стабилизации величины технологического тока.

На рис.1.г показано конечное положение инструмента 1 относительно разделенной заготовки 2 после выхода инструмента 1 из зоны разделения заготовки 2 при обратной подаче 10[5].

Процесс осуществляют следующим образом: заготовку (рис.1.а) устанавливают на электроабразивный станок с положением зоны разделения напротив электроабразивного инструмента 1, зерна 3, которого препятствуют прямому электрическому контакту инструмента 1 с заготовкой 2. Включают перемещение инструмента 1 относительно заготовки 2 (вращение для дисков, продольное движение для лент), подают электролит в место разделения заготовки 2, ток на инструмент 1 (минус) и заготовку 2 (плюс). Включают прямую подачу инструмента 1 и разделяют заготовку 2 с образованием боковых поверхностей 4 и 5 в зоне разделения заготовки 2, которые под действием анодного растворения боковыми поверхностями 6 и 7 инструмента 1 получают уклоны (если заготовка 2 не вращается) или конусы (при вращении заготовки 2). Уклоны и конусы должны быть удалены, что требует дополнительной операции (как правило, шлифования) с потерей большого слоя материала на припуск и средств на дополнительную операцию. Для исключения дополнительной операции заготовку 2 перемещают: в направлении 8, например, в сторону боковой поверхности 6 инструмента 1 (рис. 1.б). При этом за счет удаления уклона (конуса) на боковой поверхности 4 зоны разделения площадь обработки возрастает и увеличивается ток (от источника тока), поступающий на инструмент 1 и заготовку 2. Ток

стабилизируется при контакте инструмента 1 со своей боковой поверхностью 4 зоны разделения заготовки 2. После этого (рис.1.в) заготовку 2 перемещают в направлении 9 до совмещения боковых поверхностей 5 и 7 с отключением перемещения в момент стабилизации величины технологического тока. Ток может быть выключен. Затем (рис.1.г) включают обратную подачу 10 инструмента 1 и выводят инструмент из зоны разделения заготовки 2.

## Литература

1. Электрофизические и электрохимические методы, обработки материалов/ Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожалова и др. Т.1,2 Обработка материалов с применением инструмента/ Под ред. В.П. Смоленцева. - М.: Высш шк., 1983., 320 с.
2. Кашеев В.Д. Закономерности процесса формирования микрошероховатости поверхности при различных видах электрохимической обработки // Материалы Международного симпозиума (ИСЕМ-6). Краков. 1980. С.355-359.
3. Основы повышения точности электрохимического формообразования/ Петров Ю.Н., Корчагин г.Н., Зайдман Г.Н. и др. Кишинев: Штиинца. 1977, 152с.
4. Хафизов И.И. Интенсификация комбинированного процесса электроалмазной обработки металлов и сплавов и повышение качества обрабатываемости поверхности металлов// Технологическое обеспечение качества машин и приборов: сборник статей III Международной научно-практической конференции. Пенза: 2006- С. 64-66.
5. Пат. 2341358 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В23Н3/00, 7/00, 7/12. Способ разделения заготовки из токопроводящего материала / В.П. Смоленцев, О.Н. Кириллов, Е.В. Смоленцев, А.М. Гренькова, И.И. Хафизов; №2007111233/02; заявл. 27.03.2007; опубл. 20.12.2008, Бюл. №35. 4 с.
6. Хафизов И.И. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Изд-во ГОУ ВПО ВГТУ, 2007, 18 с.
7. Корягин С.И., Пименов И.В., Худяков В.К. Способы обработки материалов: Учебное пособие/Калинингр. ун-т – Калининград, 2000.– 448 с.
8. Смоленцев В.П. Сухоруков Н.В. Физические основы и технологическое применение электроконтактного процесса. Воронеж РИА 1998,148с.
9. Общетехнический справочник. Москва Машиностроение1982, 496с.
10. Хафизов И.И. Экономическая эффективность и результативность способов разделения материалов электроалмазной обработкой/ И.И. Хафизов// Вестн. Казан. технол. ун-та – 2012. – Т15. № 17. – С.292-296.
11. Хафизов И.И. Технологические приемы с наложением электрического поля при малоотходном разделении материалов/ И.И. Хафизов// Вестн. Казан. технол. ун-та – 2012. – Т15. № 18. – С.31-36.
12. Де Барр А.Е., Оливер Д.А. Электрохимическая обработка/ М.: Машиностроение. 1973. 183 с.