

И. И. Хафизов

## ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ

*Ключевые слова:* электрохимическая обработка, коррозия, технологический процесс, оборудование.

*При электрохимической обработке материалов между инструментом и заготовкой присутствуют силы способные вызвать деформацию элементов станка и приспособлений, и поэтому следует рассматривать влияние конструкции оборудования на повышение качества обработки.*

*Keywords:* electrochemical processing, corrosion, technological process, equipment.

*At electrochemical processing of materials between the tool and preparation there are forces capable to cause deformation of elements of the machine and adaptations and therefore it is necessary to consider influence of a design of the equipment on processing improvement of quality.*

### Анализ сил, действующих на элементы конструкций оборудования электрохимической обработки

Может показаться, что при существовании зазора между инструментом и деталью в процессе электрохимической обработки отсутствуют какие-либо силы, способные вызвать деформацию элементов станка и приспособлений, и поэтому можно использовать нежесткие конструкции. В действительности необходимо учитывать влияние электромагнитных, гидростатических и гидродинамических сил.

**Электромагнитные силы.** В любой точке электрического проводника, по которому протекает ток, действуют силы магнитного поля. При постоянной плотности тока давление пропорционально площади проводника. В жидком проводнике с удельной магнитной проницаемостью, это давление небольшое; при площади  $45 \text{ см}^2$  и токе  $1500 \text{ А}$  оно равно примерно  $0,003 \text{ кгс см}^{-2}$ . Однако для электродов с ферромагнитными свойствами и проницаемостью, равной  $1000$ , давление могло бы достигать  $0,3 \text{ кгс см}^{-2}$ .

Фактическое магнитное поле в узком зазоре между инструментом и деталью будет зависеть от магнитной проницаемости электродов и геометрических параметров зазора [7].

**Гидростатические силы.** Электролит в зазор можно подавать либо в направлении, перпендикулярном поверхности обрабатываемой детали через полый электрод, либо параллельно обрабатываемой поверхности. В любом случае среднее давление в зазоре между инструментом и деталью равно примерно половине прикладываемого давления. Таким образом, для станка с площадью обрабатываемой поверхности  $53 \times 23 \text{ см}$  и давлением подводимого электролита  $3,0 \text{ кгс см}^{-2}$  разжимающая сила в зазоре приблизительно равна  $2000 \text{ кгс}$ .

**Гидродинамические силы.** Если электролит подается через полый инструмент и растекается по поверхности детали равномерно во всех направлениях, тогда в расчете сил, действующих на инструмент и деталь, не учитывается сила, направленная параллельно зазору. Если электролит подается в зазор параллельно поверхности детали, то в результате сил трения на инструмент и деталь действуют силы, равнодействующая которых совпадает с направлением потока. В

приведенном примере давление на входе в зазор будет равно  $3,0 \text{ кгс см}^{-2}$ , и, полагая, что электролит подается в направлении наименьшего размера детали в промежутке, равный  $0,125 \text{ мм}$ , на инструмент и деталь будут действовать силы  $1,135 \text{ кгс}$ . Однако на практике эти силы, вероятно, должны быть гораздо больше, чем указанная, потому что часть кромок инструмента и детали будут воспринимать полное гидростатическое давление.

Из приведенных рассуждений видно, что элементы электрохимических станков и оборудования для комбинированной обработки воспринимают значительные силы в направлении, перпендикулярном рабочему зазору, и их необходимо учитывать при проектировании оснастки и самих станков. Относительное смещение между инструментом и деталью вследствие упругих деформаций узлов и приспособлений зависит не только от упругости системы (СПИД), но и от величины давления электролита; итак, давление необходимо контролировать, особенно к концу процесса обработки. Чем жестче конструкция, вспомогательные узлы и приспособления, тем меньше погрешностей возникает в результате действия этих сил. Вследствие асимметричного расположения электродов относительно шпинделя равнодействующая сила может быть направлена под углом к направлению подачи.

Приспособления необходимо конструировать так, чтобы они обладали соответствующей жесткостью в поперечных направлениях, в противном случае возникают погрешности формы. Рабочие зазоры обычно выбирают в диапазоне  $0,125\text{-}0,5 \text{ мм}$ , и отклонения из-за деформаций системы порядка  $0,025 \text{ мм}$  влияют на точность обработки. Следовательно, необходима высокая степень жесткости в направлении, перпендикулярном поверхности детали. На относительное смещение инструмента и детали влияет и изменение температуры. Поэтому необходимо тщательно контролировать, температуру электролита.

Кроме постоянных, нужно учитывать и переменные силы. Такие силы могут возникать в результате пульсации потока электролита (что определяется характеристикой применяемого насоса), изменения скорости подачи электрода или интенсив-

ного выделения газа в зазоре, и если они возникают, то связанные с ними вибрации элементов станка приводят к изменению зазора. Иногда необходимо применять устройства, которые фиксировали бы наличие вибраций, и если она существенна, приостанавливали бы процесс обработки [3].

### **Защита от коррозии конструктивных элементов оборудования**

Рассмотрим три основных элемента [6] электрохимического станка, которые наиболее подвержены коррозии:

рабочие поверхности, близко расположенные к катоду и обрабатываемой детали (рабочая камера и базовые поверхности детали и приспособления);

конструктивные элементы станка, удаленные от рабочей камеры, например станина, державка инструмента и т. д.;

вспомогательное оборудование, в которое входит насос для подачи электролита и трубопроводы (рабочая камера и базовые поверхности детали и приспособления).

Когда электролит протекает по поверхности детали, как, например, при формообразовании лопаток, то его поток необходимо ограничить до размеров рабочего зазора. В этом случае направляющие для потока и фактически вся рабочая камера могут быть изготовлены из блоков акрилового пластика или плексигласа. Этот материал не реагирует с растворами кислоты и щелочи, и рабочая камера может быть достаточно жесткой, чтобы выдержать давление электролита. Этот же материал может быть использован тогда, когда электролит подводится перпендикулярно поверхности детали и отводится через полый электрод, как при прошивке отверстий с реверсированием потока. При обработке без реверсирования потока электролит подается через полый электрод и при выходе из зазора находится под атмосферным давлением. В этом случае ограждение является только предохранением от разбрызгивания и конструкция его может быть не жесткой; например, лист из полиэтилена окажется вполне удовлетворительным. В некоторых случаях рабочую камеру желательно изготавливать из металла. Для этих целей можно использовать низкоуглеродистые стали при условии, что внутренние стенки будут надежно защищены. Покрытия из смолы должны быть надежными, и в этом случае можно рекомендовать нерастворяющиеся эпоксидные смолы. Чтобы довести до минимума коррозию рабочей камеры, когда станок не работает, желательно в конце обработки промывать ее водой. Электроды иногда проектируют таким образом, чтобы уплотняющие кольца под давлением электролита прижимались к поверхности детали и инструменту, обеспечивая полную герметизацию рабочей зоны, без применения дополнительных ограждений.

Материал, используемый для изготовления зажимов детали во время обработки, подвергается анодному травлению, и поэтому лучше использовать титан вследствие его анодной пассивности. Образцы, в которых прошивались глубокие отверстия, были зажаты в титановый блок: через это приспособление к образцам подводился ток и в процессе обработки по-

верхность титана не подвергалась травлению. Другим примером могут служить титановые патроны, применяемые при электрохимической заточке.

Такие элементы, как головки болтов, могут быть защищены органическими покрытиями, например, полиэтиленом или эпоксидными смолами.

В присутствии электролита на разнородных металлах, находящихся в контакте, особенно когда станок не работает, может наблюдаться сильная биметаллическая коррозия. Поэтому важно, чтобы контактирующие металлы не очень отличались по своим электрохимическим потенциалам. Например, металлы, находящиеся в контакте, должны быть подобраны таким образом, чтобы напряжение образующегося гальванического элемента не превышало 0,25 В.

Рабочая камера [1], в которой находятся инструмент и деталь, содержит значительный объем электролита, способного вступить в контакт с элементами станка, благодаря неизбежному разбрызгиванию его и осаждению на незащищенные поверхности. Коррозия может быть значительной из-за свободного доступа воздуха к поверхности металла, а также способности осевшей жидкости к испарению, что, в свою очередь, повышает концентрацию коррозионной среды.

Элементы станка, находящиеся в непосредственной близости от рабочей камеры, могут быть изготовлены из коррозионностойкого материала, например, нержавеющей стали, но их, вероятно, лучше делать из чугуна или низкоуглеродистой стали и защищать краской или пластмассовым покрытием. Защитные покрытия на большие поверхности наносятся щеткой или распылением. В качестве примера можно привести хлоркаучук, который на подготовленную поверхность металла наносят в следующем порядке: грунтовка, нижнее и верхнее (последнее) покрытия. Толщина всего покрытия приблизительно равна 0,25 мм. Эпоксидные и полиуретановые покрытия также оказываются удовлетворительными. Необходимо часто мыть стенки, так как немногие покрытия обеспечивают полную защиту в течение длительного времени. Направляющие станков, например электрохимического токарного и прошивочного, покрывают смазкой, которая защищает открытые поверхности, и ее защитные свойства могут быть повышены добавлением ингибиторов.

Дополнительно для защиты длинных трубопроводов, проложенных под землей: он заключается в сдвиге потенциала защищаемой конструкции по сравнению со вспомогательным анодом с получением отрицательных значений с помощью внешней электродинамической силы.

### **Вспомогательное оборудование**

Насос электрохимического станка [1] может быть центробежного типа; рабочее колесо и кожух могут быть изготовлены из графита, керамики или нержавеющей стали, но покрытие металла не исключается, так как покрытия устойчивы к сильной турбулентности. Поршневые плунжерные или рота-

ционные насосы необходимо изготавливать с повышенной точностью для получения удовлетворительных характеристик; их обычно не защищают покрытиями, так что в этом случае нужно использовать коррозионно-стойкие материалы. Довольно стойким считается сплав ланголлой 5R, но даже низкая скорость коррозии его в кислотных растворах может быть достаточно большой, чтобы сильно повлиять на работоспособность определенных типов насосов, например поршневых.

Когда используют нейтральные растворы, можно применять такие материалы, как нержавеющая сталь, монель, оружейные стали и определенные типы алюминиевой бронзы. Насосы, изготовленные из титана, могут непрерывно пассивироваться анодным потенциалом, и небольшой центробежный насос с анодным потенциалом проработал вполне удовлетворительно в горячем 50%-ном водном растворе серной кислоты. Незащищенный титан корродирует в этой среде со скоростью примерно  $25,4 \text{ мм год}^{-1}$ , но наложение небольшого положительного потенциала уменьшает коррозию до  $0,002 \text{ мм год}^{-1}$ . Расход энергии при этом составляет только 3 Вт на  $100 \text{ м}^2$  погруженного титана.

Резервуары для электролита изготавливают из пластических материалов, например полиэфира или эпоксидных смол, армированных стекол или даже из полиэтилена, в тех случаях, когда не важна прочность. Более высокую прочность, однако, обеспечивают стальные или бетонные резервуары, облицованные поливинилхлоридом или смолой.

Трубопроводы, выдерживающие максимальные давления  $0,6 \text{ кгс см}^{-2}$ , изготавливали из жесткого поливинилхлорида, но там, где требуется эластичность, оказался пригодным пластифицированный поливинилхлорид, армированный нейлоновыми кольцами. Эти материалы также можно с успехом использовать при работе под высокими давлениями при условии применения жестких соединений; для очень высоких давлений рекомендуется, например, стальной трубопровод, облицованный синтетической смолой.

Клапаны изготавливают из поливинилхлорида, но для более высокой прочности предпочитают металлы. Титан или ланголлой 5R пригодны для кислотных электролитов, а нержавеющая сталь, монель и некоторые медные сплавы — для солевых растворов. Можно использовать также обычные металлы, но при условии, что изнутри они должны быть покрыты стеклом или хлорированным полиэфиром, известным под названием «пентон».

Фильтры для очистки кислотных электролитов целесообразнее изготавливать из керамических материалов, а для солевых растворов из коррозионно-стойких фиброматериалов, например стеклоткани.

Кожухи для вспомогательного оборудования, например фильтров, можно делать из жестких пластмасс, в зависимости от требуемого размера и прочности, хотя можно использовать и металлы при условии, что они защищены таким же образом, как и части станка.

### Типовая структура оборудования

По структуре станки для ЭХО близки к агрегатным. Они включают стандартные узлы: источник

питания, насос, ванны для хранения электролита и промывочно-пассивирующих жидкостей, устройство для очистки электролита, элементы управления. Механическая часть станка всегда оригинальна, она содержит элементы для установки и крепления деталей, механизмы подачи электродов-инструментов, системы подвода рабочего напряжения и электролита. Для проектирования любого электрохимического станка необходимо рассчитать параметры источника питания, насоса, ванны для электролита, выбрать средства очистки жидкости от продуктов обработки, разработать элементы механической части станка, выбрать систему регулирования межэлектродного зазора. Стандартные узлы обычно рассчитывают для группы обрабатываемых деталей и выбирают из числа серийно выпускаемых. Нестандартные узлы и детали также рассчитывают, проектируют и изготавливают для конкретного вида обрабатываемых поверхностей и схемы обработки.

Затраты на создание нового типа станков для ЭХО складываются из: а) стоимости проведения поисковых исследований, разработки технического задания и технико-экономического обоснования создания оборудования, проектирования оригинальной механической части и общей компоновки (около 50% всех затрат); б) стоимости комплектующих стандартных узлов: источника питания, насоса, ванн, устройства для очистки электролита, электрооборудования ( $\approx 15\%$ ); в) стоимости изготовления механической части, ее сборки и наладки ( $\approx 20\%$ ); г) стоимости доводки узлов и технологического процесса ( $\approx 15\%$ ) [4].

Источники питания электрохимических станков преобразуют переменное напряжение электрической сети в постоянное или униполярное импульсное. В отдельных случаях для ЭХО используют и переменный ток. Но во всех случаях, кроме обработки струйным методом, выходное напряжение источника питания обычно не превышает 36 В. Сила тока может достигать 30 000 А (в зависимости от мощности источника питания). Источники могут быть со ступенчатым и плавным регулированием силы тока или напряжения, со стабилизацией выходных параметров. Источники бывают двух видов: электромеханические и статические. Электромеханический источник питания представляет собой механически связанные электродвигатель, и генератор, вырабатывающий ток требуемого напряжения. При работе генератора возникают шум, вибрации, электромеханические источники питания сложны в обслуживании, имеют низкий КПД и в настоящее время используются редко.

Благодаря развитию выпрямительной техники были созданы статические источники питания на селеновых и кремниевых выпрямителях. Наиболее перспективными являются источники с управляемыми выпрямителями, называемыми тиристорными преобразователями, с системами защиты от перегрузок. Некоторые преобразователи позволяют менять полярность напряжения на выходе, их называют реверсивными.

Системы подачи электролита. Если процесс ЭХО протекает в течение нескольких секунд, на-

пример, при маркировании деталей по схеме с неподвижными электродами, то электролит не успевает загрязниться продуктами обработки. В этих условиях электролит не прокачивают. При времени процесса до 8...10 с для перемещения электролита могут быть использованы ультразвуковые или низкочастотные вибрации электродов или влажные ленты, перемещаемые через межэлектродный зазор. Если обрабатывают детали, предназначенные для перемещения газов или жидкостей (крыльчатки компрессоров, насосов шнеков и др.), то электролит можно перемещать за счет вращения самой заготовки. Жидкость протекает по зазору между электродами со скоростью, регулируемой частотой вращения заготовки. В остальных случаях используют насосы. При небольших расходах электролита, например для прошивания отверстий малого диаметра, применяют прокачку с помощью пневмонагнетателей. Пневмонагнетатели позволяют получить высокое давление электролита без использования электропривода. Однако они обладают малой производительностью, а также низкой надежностью при плохой очистке электролита.

Наиболее широко применяются центробежные насосы, выполняемые из нержавеющей стали. Они не боятся загрязнения перекачиваемой жидкости и надежны в работе. Для подбора промышленного насоса необходимо рассчитать его напор и подачу.

#### **Агрегаты очистки электролита от продуктов обработки**

При ЭХО в электролите происходит накопление продуктов обработки. При малых межэлектродных зазорах в загрязненном электролите между электродом-инструментом и деталью происходят пробой промежутка и короткое замыкание. При нормальном протекании процесса ЭХО допустимая массовая концентрация твердых продуктов обработки в электролите зависит от размера зазора:

Системы регулирования режима ЭХО. В качестве основного параметра режима в зависимости от схемы обработки используют:

- при неподвижных электродах — постоянную плотность тока;
- при ЭХО заготовок с постоянной площадью обрабатываемой поверхности — постоянную силу тока;
- при необходимости удалить определенный объем металла — количество электричества;
- в случае обработки заготовок с переменной площадью — минимальный межэлектродный зазор [5].

#### **Выводы**

1. Применяемые методы разделения металлов позволяют, в основном, выполнять заготовительные операции, где не требуется высокая точность и каче-

ство поверхностного слоя, которые обеспечиваются на последующих этапах обработки, требующих значительных припусков на процесс, имеющих высокую трудоемкость и удельную энергоемкость.

2. Электрохимическая обработка обеспечивает точность процесса, но требует последующих операций для достижения заданной чистоты.

3. Известные конструкции дискового инструмента для разделения дают большую ширину паза или не обеспечивают требуемой точности процесса, качества поверхностного слоя.

5. Имеющееся оборудование для разделения материалов не оснащено требуемыми средствами автоматизации процесса, в том числе элементами адаптивного управления с корректировкой режимов по заданным закономерностям.

6. Необходимо разрабатывать технологический процесс, оборудование и средства технологического оснащения для разделения материалов применяя разработку [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. Пат. 2323071 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В23Н3/00, В23Н9/14. Способ электрохимической обработки / Хафизов И.И., Закирова А.Р., Садыков З.Б., заявитель и патентообладатель Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. - № 2006113276/02; заявл. 10.04.06; опубл. 10.11.07, Бюл. № 12.-3с.
3. Хафизов И.И. Малоотходное чистовое разделение дефицитных материалов комбинированным методом.: дисс. канд. техн.наук: 05.03.01: защищена 19.09.07: утв. 14.12.07 / Хафизов Ильдар Ильсурович.- ВГТУ, Казань, 2007 – 184 с.
4. 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.
5. 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.
6. Седыкин Ф.В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин 1 М.: Машиностроение. 1976.302 с
7. Хафизов И.И. Способы управления стабильностью процесса при комбинированном разделении заготовок./ И.И. Хафизов// Современные технологии, материалы, оборудование и ускоренное восстановление квалифицированного кадрового потенциала - ключевые звенья в возрождении отечественного авиа- и ракетостроения: Сб. докладов межд. научно-практ. конф. Т.II. - Казань: Изд-во "Вертолет", 2012.- 438 с. С.194-199.