

УДК 621.316

В.М. КАЙНОВ, студент гр. М20-МПП (НГТУ)
Научный руководитель **И.О. ЛЕУШИН**, д-р технических наук, профессор
(НГТУ)
г. Нижний Новгород

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Электрогидроимпульсный эффект, также известный как электрогидравлический эффект, был открыт в 1950-м году и получил широкое распространение в различных отраслях добывающей и тяжёлой промышленности. Данный эффект применяется при бурении скважин, разрушении и измельчении горных пород, обработке материалов давлением, очистке литых заготовок, удалении твердых отложений в теплообменниках и технических трубопроводах и т.д.

Сущность электрогидроимпульсного эффекта состоит в электрическом взрыве, вызванном протеканием электрического искрового разряда в жидкой диэлектрической среде, что в результате приводит к гидравлическому удару. Эффект позволяет преобразовать электрическую энергию в механическую энергию ударной волны, обладающую высокой интенсивностью и низкой продолжительностью. Низкая продолжительность разряда позволяет получить высокие и сверхвысокие наносекундные показатели давления при низких энергозатратах, что позволяет отнести процесс к энергоэффективным, несмотря на сравнительно низкий КПД (25-30%).

Электромеханическая эффективность электрогидроимпульсных установок зависит от величины напряжённости электрического поля на катоде. Падение напряжённости электрического поля препятствует возникновению искрового разряда, снижает интенсивность фронта гидравлического удара, повышает эрозионный износ электрода и электрические потери. Напряжённость электрического поля в промышленных установках зависит от заданных характеристик источника питания, а также от конструкции и степени износа электродов. Обеспечить высокую напряжённость электрического поля на катоде возможно путём снижения площади поперечного сечения электрода либо путём частичного экранирования избыточной поверхности катода при помощи диэлектрика, ограничивая токопроводящую часть электрода небольшой областью острия. Метод снижения площади сечения электрода не получил широкого распространения по причине высокого износа электрода и потребности в частом обслуживании. Однако определённую популярность в промышленности приобрела практика частичного экранирования избыточной поверхности катода при помощи полимерных органических диэлектриков. Недостатком электродов с экранирующей изоляцией является их низкий ресурс работы, вызванный разрушением электрической изоляции. Износ изоляции приводит к резкому падению КПД установки.

Основной причиной износа электрической изоляции катода, описанной в изученной работе [1], является протекание электрических разрядов по поверхности изоляции на границе жидкой и твердой фаз в начальный период формирования электрического разряда. Тепловое действие разряда вкупе с механическим ударом жидкости приводит к выгоранию и выкрашиванию поверхности изоляции. Причиной протекания электрического разряда вдоль поверхности изоляции может быть чрезмерное разветвление электрического стримера, а также особенности распределения ионов жидкости в объёме межэлектродного промежутка.

Целью данной статьи является поиск возможных методов решения проблемы, связанной с повышенным износом изоляции, а также общее повышение стабильности работы электрогидроимпульсных установок.

Предлагаемый метод решения поставленной задачи основан на действии силы внешнего магнитного поля на движущиеся заряженные частицы электрической плазмы искрового разряда (т.е. применение сил Лоренца).

Проанализируем уравнение силы Лоренца:

$$F = |q|vB \cdot \sin \alpha \quad (1),$$

где F – сила Лоренца;

q – величина заряда частицы;

v – скорость движения заряда;

B – напряжённость магнитного поля;

α – угол между электрическим и магнитным полем.

Из уравнения (1) следует, что в случае совпадения направлений магнитного и электрического полей действие силы Лоренца на электрическую плазму отсутствует. Таким образом возможно направить магнитное поле так, чтобы основной канал разряда, прорастающий от катода к аноду, не подвергся действию сил Лоренца, в то время как ответвления разряда, расположенные под углом к магнитному полю, отклонялись от начальной траектории по закону Лоренца. Отклонённая траектория заряженной частицы есть результат действия электрических и магнитных сил, действующих в перпендикулярных плоскостях и вынуждающих частицу двигаться по спирали. В таком случае неоднородность магнитного поля, вызванная отдалением от источника, носит позитивный характер, так как изменение величины силы Лоренца приводит к возникновению асимметрии в спиралевидной траектории с переменным радиусом витка. Это приводит к смещению области вероятного прибывания заряженной частицы в сторону с меньшей напряжённостью магнитного поля.

Высокая напряжённость магнитного поля препятствует как нежелательному ветвлению электрического стримера на начальных этапах процесса, так и сверхзвуковому расширению канала разряда позднее. В изученной работе [2], посвящённой исследованию действия магнитного поля на искровой разряд в газовых средах, авторы приходят к выводу, что действие магнитного поля заметно уменьшает скорость, с которой расширяется плазменный канал. Это влечет

за собой уменьшение интенсивности ударной волны, но в то же время давление и температура в канале разряда возрастают. Возрастает также и доля энергии, преобразованная в излучение. Анализируя результаты работы [2] с учётом особенностей жидких сред, мы можем сделать выводы о некоторой степени влияния магнитного поля на процесс. Однако степень магнитного давления на канал разряда, расширяющегося со сверхзвуковой скоростью в жидкости, много меньше давления несжимаемой жидкости, сопротивляющейся перемещению. В таком случае давление магнитного поля на канал разряда на фоне давления среды незначительно скажется на показателях процесса на поздних стадиях протекания разряда. В водной среде расширение канала разряда осуществляется во многом за счёт термодинамических процессов на границе канала, поэтому рост температуры канала разряда следует рассматривать как положительный фактор. Рост интенсивности излучения может способствовать расширению канала за счёт фотогидравлического эффекта и ионизации рабочей жидкости. Таким образом, можно сделать вывод, что применение внешнего продольного магнитного поля в электрогидроимпульсных установках не приведёт к снижению энергетических показателей процесса на поздних этапах развития канала разряда.

Из уравнения (1) также следует, что величина силы Лоренца, оказывающей сжимающее действие на область протекания искрового разряда, зависит от скорости движения заряженной частицы. Определить скорость движения заряженной частицы в канале искрового разряда можно по формуле (2):

$$v = \sqrt{\frac{2|q| \cdot U}{m}} \quad (2),$$

где U – напряжение между электродами в начальный момент разряда;
 m – масса заряженной частицы.

Таким образом, действие силы Лоренца напрямую зависит от напряжения разряда. Это позволяет сделать выводы о целесообразности применения внешнего магнитного поля при высоких напряжениях работы установки.

Силы магнитного поля оказывают прямое действие, как на заряженные частицы электрической плазмы, так и на ионы рабочей жидкости, свободно дрейфующие в объёме или начинающие движение в момент возникновения потенциала на электродах. Ионы жидкости, согласно стримерной теории развития разрядов, играют ключевую роль в процессе формирования разряда между электродами. Способность электрического стримера разветвляться также зависит от наличия в окружающей жидкости анионов. Таким образом, описанное ранее явление концентрации ионов жидкости в области с меньшей напряжённостью магнитного поля способствует протеканию и развитию электрического разряда, а также препятствует проникновению разряда в области с высокой напряжённостью магнитного поля.

Одним из возможных способов увеличения срока службы электродов в электрогидроимпульсных установках может стать установка источника статического или динамического магнитного поля в головной части электрода. Магнитные линии поля должны быть направлены параллельно направлению протекания канала разряда в защищаемых областях. В случае применения динамического магнитного поля следует использовать импульсный режим работы, синхронизированный с частотой электрических разрядов основного устройства. Напряжённость магнитного поля должна быть откорректирована в зависимости от напряжения и оптимальной зоны локализации разряда. Недостатками предложенного способа являются:

- сложность конструкции и стоимость составного электрода;
- необходимость уменьшения толщины электрической изоляции катода в областях, требующих создания магнитного поля;
- предохранение катода, но не способствование стабилизации процесса в рамках метода;

Главное преимущество метода — возможность его применения с любым электрогидроимпульсным оборудованием.

Другим возможным способом управления процессом и увеличения срока службы электродов является установка источника магнитного поля непосредственно в корпус гидравлической камеры устройства. Данный метод подходит для устройств с небольшим объёмом гидравлической камеры, расположенной в постоянном корпусе. При наличии цилиндрического корпуса небольшого диаметра источники магнитного поля можно установить по всей его длине. При достаточной напряжённости магнитного поля это позволит не только стабилизировать процесс, локализовав область разряда, но также управлять формой разряда и фронтом ударных волн при помощи различных конфигураций магнитного поля. Подобный способ мог бы быть наиболее полезен при электрогидроимпульсной обработке металлов давлением. Недостатками данного метода являются:

- сложность и высокая стоимость конструкции и системы управления;
- ограниченная совместимость с оборудованием.

Преимущества этого способа таковы:

- снижение общих энергетических потерь до 8% (за счёт устранения ветвления электрического стримера);
- дополнительный контроль процесса и возможность получения ударных волн жидкости сложной формы;
- простая конструкция электродов.

Развитие технологии применения магнитных полей для повышения эксплуатационных качеств электрогидроимпульсных установок позволит расширить сферу применения подобных энергоэффективных и высокопроизводительных устройств.

Список литературы:

1. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986.— 253 с., ил.
2. М.Б. Хачалов, Х.Г. Ахмедова. Расширение искрового канала в аргоне во внешнем магнитном поле. Вестник Дагестанского государственного университета 2007 Вып. 1.