

# ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ – НЕТРАДИЦИОННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

**Борис Мериин**

В ряду электрофизических технологий, включающем лазерные, ультразвуковые, плазменные, электронные, электроэрозионные, свою отдельную нишу занимают электрогидравлические технологии. Электрогидравлические (ЭГ) технологии основаны на использовании ЭГ - эффекта (эффект Юткина) [1]. ЭГ-эффект – совокупность явлений, наблюдаемых при высоковольтном импульсном разряде в жидкости (обычно в воде).

Высоковольтный импульсный разряд в воде сопровождается световым и электромагнитным излучением, формированием ударных, ультразвуковых и звуковых волн широкого диапазона частот, импульсного давления (с амплитудой, достигающей при определенных условиях десятков тысяч атмосфер), мощного гидротока с кавитацией.

Реализация ЭГ - эффекта может быть осуществлена, например, по представленной ниже простой схеме (рис. 1):

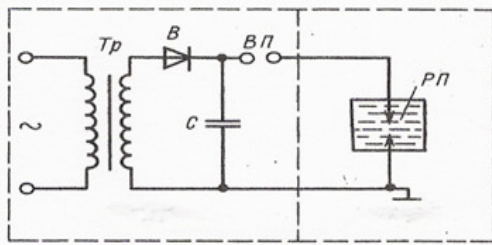


Рис. 1

Ток из сети с помощью трансформатора (Тр) повышается до заданного рабочего напряжения (обычно используется напряжение в пределах 0,5—70 кВ), выпрямляется (В) и заряжает конденсаторную батарею (С). Далее, батарея с помощью специального коммутирующего устройства (здесь оно в виде двух шаров с воздушным промежутком ВП) может быть разряжена между двумя электродами в воде в так называемом рабочем промежутке (РП). Напряжение задается воздушным промежутком между шарами (напряжение в 3 кВ пробивает 1мм).

По достижении рабочей величины напряжения происходит пробой воздуха (между шарами и промежутка между электродами в воде), т.е. реализуется импульсный электрический разряд в жидкости (некий разряд молнии в воде), при котором до 85-90% энергии, накопленной конденсаторной батареей, выделяется между электродами. Эта энергия и может быть использована для совершения полезной работы.

При разряде формируется плазменный канал (канал разряда) с температурой 15-30 тыс. градусов. В канале, имеющем небольшое сечение, происходит интенсивный локальный разогрев жидкости, при этом в нем конденсируется энергия перегретого ионизированного газа и пара, способных совершать работу.

Быстрое расширение канала разряда (в виде парогазовой полости) создает в окружающей несжимаемой среде, каковой можно считать жидкость, волны сжатия и импульсы давления. При интенсивном выделении энергии скорость расширения канала может превышать скорость распространения звука в жидкости, в результате чего волна сжатия превращается в ударную волну. Расширение полости продолжается до тех пор, пока давление в ней из-за инерции расходящегося потока жидкости станет меньше давления окружающей среды.

С этого момента происходит обратное движение жидкости (полость захлопывается), давление газа в ней вновь резко возрастает, и процесс многократно повторяется, постепенно затухая.

Итак, процесс имеет такую последовательность: образование канала разряда, выделение в нем энергии, излучение ударных и других волн широкого спектра частот (время до 10 мкс, давление на фронте имеет порядок 10000атм), образование расходящегося потока жидкости (время и давление имеют порядок, соответственно, 100 мкс и 1000 атм), пульсация полости с образованием кавитационных разрывов (каверн) и кавитационного потока.

Таким образом, при реализации ЭГ- эффекта могут быть использованы следующие **факторы воздействия на обрабатываемый объект:**

- ударные и ультразвуковые волны,
- давление гидротока, сам гидрпоток,
- кавитация, кавитационные потоки.

В качестве достоинств ЭГ-технологий следует отметить:

- возможность преобразовывать непосредственно электрическую энергию в механическую (с высоким КПД – до 80%);
- энергия может быть просто реализована в заданной точке (и в мочевом пузыре – для дробления камней, и в водной скважине, на глубине в десятки метров);
- процесс легко регулируется при изменении параметров разряда (рабочего напряжения и емкости конденсаторной батареи).

Тем самым, с помощью ЭГ-эффекта можно «убить слона и подковать муху» – имеется в виду возможность штамповать детали из стального листа толщиной 20 мм, с одной стороны, и на специальных установках безопасно разрушать камни в почках – с другой;

- ЭГ-процессы имеют преимущества импульсного воздействия и несложно автоматизируются.

Благодаря специфическим достоинствам, ЭГ-технологии позволяют эффективно выполнять задачи, не решаемые или трудно решаемые традиционными методами. ЭГ - технологии помогают решать проблемы в машиностроении и ремонте техники, в сельском хозяйстве и мелиорации, в строительстве и при разработке полезных ископаемых, в горном деле и гидрометаллургическом производстве, в медицине. Ниже приведены некоторые конкретные примеры.

## **В технологии машиностроения**

Как известно, в машиностроении детали и заготовки для них получают чаще всего литьем, штамповкой, сваркой, прессованием из порошков. Рассмотрим некоторые эффективные ЭГ - процессы, используемые в перечисленных технологиях.

Литье производится заливкой жидкого металла в специально приготовленные формы. Для больших деталей, не требующих высокой точности размеров, используются земляные (в основном, состоящие из кварцевого песка) формы. После твердения и охлаждения отливку надо извлечь из формы, что и делается с помощью специальных вибростол. Однако формовочная смесь пригорает и остается частями на отливке. Особенно сложно удалять стержни (элементы формы), которые устанавливаются для получения полостей и отверстий. Трудности связаны с тем, что стержень, который окружен жидким металлом и потому работает при повышенных температурах, не только больше пригорает, но и изготавливается из более прочного материала. Традиционно очистка отливок от пригоревшей формовочной смеси производится оператором в респираторе отбойным молотком или пневмозубилом (работа вредная и малопродуктивная).

Разработана ЭГ-технология, позволяющая эффективно решать проблему [1;2]. Отливка устанавливается на решетку, которая опускается в ванну с водой, к отливке сверху подводятся электроды, осуществляются разряды на заземленную отливку. Ударная волна сжатия, проходя сквозь металлическую отливку, на границе превращается в волну растяжения, которая разрушает пригоревшую формовочную смесь и все неметаллические наслоения, имеющие иные акустические характеристики. Гидропоток выносит всё отслоившееся из карманов и отверстий. В СССР, в Комсомольске-на-Амуре, было налажено производство установок для очистки литья, их приобретали Швеция, Испания, Япония, другие высокоразвитые страны.

Серьёзная проблема – удаление стержней малого диаметра и большой длины, например, очистка каналов (диаметр – 1 мм, длина – 100-120 мм) охлаждения лопаток турбин авиационных двигателей, изготавливаемых из титана точным литьем по выплавляемым моделям. Прежде каналы очищались химически сильнодействующими реактивами, и получаемые при этом отходы складировали в специальных хранилищах. Очистка каналов путем ЭГ-обработки отливок позволила реализовать экологически чистый процесс производства.

Штамповка (холодная из листа). Традиционно при штамповке используется матрица, по которой формируется деталь, и пуансон, осуществляющий деформирование заготовки. При ЭГ - штамповке роль пуансона выполняет вода (рис.2). Заготовка прижимается к матрице камерой с электродами, камера заполняется водой, после чего выполняется серия разрядов.



Рис.2

При разряде давление гидропотока осуществляет штамповку.

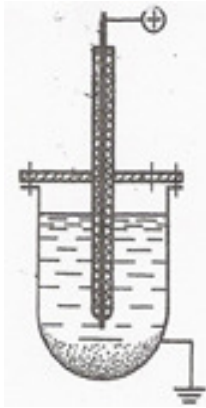
Процесс имеет следующие преимущества:

- отсутствие пуансона, который должен строго соответствовать матрице (особенно ценно для мелкосерийного производства);
- возможность совмещения операций (например, формовки и пробивки отверстий), при этом для нескольких операций используется одна матрица;
- высокая точность штампуемых деталей из-за отсутствия пружинения при импульсном нагружении (возможно получение художественных отпечатков).

Сварка - процесс получения неразъемного соединения. При сварке плавлением имеет место проблема остаточных напряжений, возникающих в результате неравномерного охлаждения наплавляемого жидкого металла и соединяемых элементов заготовки. Металл наплавки остывает и при охлаждении стремится сжаться, чему препятствуют холодные, обычно более жесткие, элементы заготовки. В результате в шве и заготовке возникают сварочные (остаточные) напряжения. Напряжения могут приводить к повёрткам (самопроизвольному постепенному изменению размеров) и появлению трещин (при растягивающих напряжениях). Ответственные детали всегда отжигаются для снятия остаточных напряжений. Отжиг – 24-х часовая выдержка в печи при температуре для стали, например, не ниже 600 градусов – операция дорогая и чрезвычайно непроизводительная (особенно для крупногабаритных деталей). ЭГ-обработка швов, которая может быть произведена в ванне для очистки литья, позволяет в течение одного - двух часов снизить остаточные напряжения на 50-70% [3]. Этот атермический (без нагрева) метод релаксации напряжений позволяет значительно снизить энергозатраты, существенно уменьшить повёртки в соединениях разнородных материалов (проверено, например, на корпусах электромашин подводных лодок) и исключить трещинообразование, к которому склонны швы некоторых высоколегированных

жаропрочных сплавов. При этом традиционный отжиг не снимает проблему снижения остаточных напряжений в соединениях разнородных металлов и трещинообразования в жаропрочных сплавах.

Дробление – для случаев измельчения (механического) алмазов и твердых алмазоподобных материалов, производства химически чистых порошков – ограничено прочностными возможностями инструмента. ЭГ-дробление решает все проблемы. В камеру-дробилку (рис. 3) загружается порция материала, который обрабатывается в воде.



За счет действия ударных волн материал разрушается и измельчается. Для получения частиц заданного размера на дне дробилки размещают сито (не показано). ЭГ-процесс обеспечивает:

- измельчение частиц твёрдых материалов (алмазов, карбидов, нитридов, керамики, эльбора) до 1-10 мкм;
- получение острых неокатанных граней, необходимых в производстве абразивного инструмента (например, алмазных буров);
- высокую химическую чистоту измельчаемого продукта (при реализации процесса рабочим инструментом является вода).

Рис.3

### **ЭГ- эффект в ремонте техники.**

#### **Очистка от технологических и эксплуатационных наслоений**

Известна проблема борьбы с наслоениями, образуемыми на внутренних стенках труб различных устройств. Особые проблемы возникают при использовании жесткой (содержащей соли кальция, преимущественно карбоната кальция) воды при водоснабжении и в тепловых нагревательных приборах (радиаторы, сушилки, котельное оборудование). Соли «жесткости» при нагреве воды выпадают в осадок, который образует прочное отложение, похожее по свойствам на мрамор. Этот осадок (зачастую называют накипью) мешает потоку и, имея худшую в 200-300 раз теплопроводность, резко снижает теплоотдачу (при 3 мм толщины осадка- потери энергии составляют до 25 %).

ЭГ- разряды в трубе, заполненной водой, или на трубу в ванне с водой легко разрушают отложения, которые затем выносятся гидротоком.

**При ремонте двигателей автомашин** очистка каналов и отверстий небольшого диаметра от грязи, горюче-смазочных наслоений, нагара – чрезвычайно неприятная, грязная и трудоёмкая операция. Таковы, например, очистка масляных каналов в коленвалах или сопловых отверстий (0,2-0,3 мм) распылителя форсунки ЭГ- технология, используя камеры малого объёма (0,5 л), которые с помощью насадка формируют струю со скоростью истечения, достигающей 1 м/сек, позволяет достаточно просто выполнить очистку. Направляя струю в канал или в отверстие, за несколько разрядов удается очистить деталь. Традиционно для прочистки каналов чаще всего используют химические реактивы, восстановить же форсунку не удастся без увеличения размеров отверстий и потери тем самым её качества.

И еще пример. ЭГ -технология позволяет путем раздачи (увеличения наружного диаметра) восстановить поршневой палец двигателя автомашины после его отбраковки, в связи с износом. В специальном устройстве палец (трубчатая деталь из термически упроченной стали, например, с внутренним диаметром 24 мм и наружным 42 мм) заполняется водой, в нем осуществляется один разряд, обеспечивающий давление внутри него, необходимое для раздачи на 0,1-0,15 мм. После шлифования и полирования поршневой палец может служить еще один срок.

## Сельское хозяйство и мелиорация

**Валуны** на полях иногда невозможно вывести за пределы поля - их приходится разрушать на месте. Использование взрывчатых веществ приводит к засорению поля осколками. ЭГ-технология обеспечивает безосколочное разрушение камней с размерами в несколько кубометров. В камне сверлятся отверстия-шпурсы диаметром 25 мм и длиной 500 мм. Шпур заливается водой, и в него устанавливается взрыватель (может представлять собой два изолированных провода, оголенные концы которых установлены с заданным промежутком). Производится разряд, при котором ударная волна формирует трещину, а гидродаток раздвигает трещину, обеспечивая разрушение - откол камня.

**Фильтры водозаборных скважин** в процессе работы заиливаются - кальматируются, в результате чего дебет (производительность) падает, зачастую такие скважины приходится закрывать. ЭГ - обработка зоны фильтра специальным разрядным устройством, опущенным в скважину, осуществляет его декальматацию(4). При этом достигается увеличение дебета в 2,5-3 раза.

**Органическое удобрение** - дефицит. С помощью ЭГ- эффекта его можно производить **из торфа**, который не дефицитен, так как в натуральном виде не может усваиваться растениями. Торф для ЭГ- обработки очищают от примесей, смешивают с водой и прокачивают через рабочую камеру, где осуществляют разряды. В результате получают за час 100 кг пастообразного продукта, который является собой прекрасное экологически чистое удобрение. ЭГ – воздействие деструктурирует сложные органические составляющие торфа, в результате происходит измельчение его фракций до 1-30 мкм. При этом содержание аммиачного азота возрастает в 2,5- 4 раза в низинном торфе и в 5-7 раз - в верховом, а количество водорастворимого органического вещества увеличивается в 1,5 - 2 раза. Полученное удобрение прошло многолетние испытания в совхозе "Лето" (Ленинград) при выращивании овощей плодово-ягодных культур и декоративных растений. Урожайность огурцов и помидор, например, повышается на 15-20 %. Опыт показал, что удобрение из торфа равноценно навозу.

**ЭГ- обеззараживание** основано на возможности ЭГ- ударом уничтожить находящиеся в жидкости ( воде, стоках) болезнетворные бактерии, даже самые неприятные, как E-coli. ЭГ- обработанная вода способна сохранять свою бактерицидность в течение суток. Процесс эффективно использован для обеззараживания боенских отходов в звероводческом совхозе "Рошинский". Разводимые там норки питаются сырым мясом, которое должно быть обеззаражено. Мясо приходилось варить, что существенно снижало качество корма (норки отказывались от такого мяса). ЭГ - обработка сырого мясного фарша позволила отказаться от варки тушек норок (с которых были сняты шкурки). Таким образом, был организован безотходный процесс кормления норок норками.

## Строительство

**При реконструкциях** существует проблема разрушения старых железобетонных фундаментов и сооружений. Применение взрывчатых веществ без остановки производства и особенно внутри зданий – небезопасно, поэтому традиционно используется отбойный молоток. ЭГ- технология зачастую помогает безосколочно и безопасно решать эту проблему: бурятся шпурсы и ЭГ- ударами разрушается целостность конструкции, которая затем значительно быстрее (в разы) разбирается с помощью отбойных молотков. В Ленинграде, например, с помощью ЭГ- технологии были оперативно и безопасно разобраны железобетонные перемычки в подземном тоннеле, где применение взрывчатых веществ было запрещено соображениями техники безопасности.

**Бракованные и отработанные железобетонные изделия** -проблема больших городов и железобетонных заводов, где допускалось до 2-5 % брака. Разрушение

железобетонных изделий на ЭГ - установках, аналогичных используемым для очистки литья, позволяет разделить и утилизировать бетонный камень и арматуру.

## **Горное и гидрометаллургическое производство**

**Высвобождение минералов из горных пород** и руд эффективно реализуется с помощью ЭГ - дробления, которое обеспечивает селективное разрушение минералов по границам зерен (5). Технология апробирована на широком спектре минералов: гранаты, берилл, изумруд, хромдиоксид, минералы платиновой группы, алмазы, самородное золото, циркон. Технология позволяет при дроблении проб:

- высвободить из породы кристаллы и минералы с уникальной сохранностью;
- фрагментировать крупные куски пород для образцов;
- выделить из низкосортного сырья фрагменты без трещин;
- получить ценную информацию о структуре породы.

ЭГ- дробление -прекрасная технология для добычи алмазов. Эксперименты в Южной Африке и Якутии показали, что она обеспечивает полное раскрытие алмазов - кристаллы содержат незначительное количество кимберлита на поверхности, при этом почти исключается разрушение алмазных агрегатов, характерное для традиционного механического дробления.

**Повышение выхода «годного» продукта в гидрометаллургии** за счет предварительного ЭГ - измельчения руды. При ЭГ - обработке отвалов низкосодержащих руд перед выщелачиванием на Киргизском горнометаллургическом комбинате удалось в несколько раз повысить извлечение редкоземельных металлов и превратить тем самым отвалы в перспективную руду.

## **6. Медицина**

**Разрушение камней в мочевом пузыре.** В 80-е годы на Украине была разработана и в Вильнюсе серийно производилась установка "Урат". Электроды в виде проволочного катетера вводились в мочевой пузырь, который заполнялся водой. Осуществлялись ЭГ-разряды, их результат контролировался ультразвуком. После разрушения камни в виде песка выходили естественным путем с мочой. Процесс эффективный и безопасный, но болезненный.

**Удаление почечных камней** с помощью наружного источника ЭГ- воздействия: в этом случае разряд реализуется за пределами тела. Процесс основан на прохождении волн сжатия через границу: тело (живая ткань) – вода - практически без потерь, в связи с близостью акустических характеристик воды и живой ткани. Разработанные в Германии установки многие годы эффективно используются в госпиталях мира, в том числе и в США (6).

Приведенные примеры решения технических проблем с использованием ЭГ – технологий показывают многообразие возможностей и широкую перспективу применения эффекта в различных отраслях человеческой деятельности.

**Сдерживающим фактором в широком использовании ЭГ - технологий** являются требования, предъявляемые обычно к обеспечению техники безопасности при работе с высоковольтным импульсным оборудованием.

Однако все проблемы обеспечения техники безопасности (чаще психологические) достаточно просто решаются в настоящее время, о чем свидетельствует многолетнее применение ЭГ - технологий в промышленности и использование различных других высокоимпульсных технологий и в технике, и в медицине.

## Источники

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – М.: «Машиностроение». – 1986.
2. Гулый Г. А. и др. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. – М.: «Машиностроение». – 1977.
3. Мериин Б. В. Электрогидравлическая обработка машиностроительных изделий. – М.: «Машиностроение». –1985.
4. Романенко В.А. Электрофизические способы восстановления производительности водозаборных скважин. – Л.: «Недра». – 1980.
5. Волкова Н.М., Курец В. И. К вопросу о сохранности включений при дроблении руд электрическими разрядами. Электронная обработка материалов, 1981, №10. с. 130-132.
6. Устройство для разрушения почечных камней. БИНТИ ТАСС, 1983, №40, с.55-56